ISSN 0021-3462

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ



РАДИОФИЗИКА

1994
ТОМ 37
1



Специальный выпуск

ИЗДАНИЕ НИЖЕГОРОДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
РАДИОФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Contents

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

Известия высших учебных заведений

РАДИОФИЗИКА

ежемесячный научно-технический журнал

Издается с апреля 1958 г.

Том XXXVII N 1 Нижний Новгород 1994

Содержание

Труды семинара-конференции "НЕТЕПЛОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ СВЧ И КВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ"

УДК 612.014.426.8

РЕАКЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА НА ПЕРИФЕРИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН

Н.Н.Лебедева

ВВЕДЕНИЕ

Исследования, проведенные на молекулярном, клеточном, органном уровнях, показали, что живые системы, независимо от уровня их организации, чувствительны к действию миллиметровых волн нетепловой интенсивности, при этом существуют общие закономерности биологических эффектов как для микроорганизмов, растений, так и для млекопитающих [1,2].

Изучая влияние мм-волн нетепловой интенсивности человека и животных, следует иметь в виду, что это излучение практически полностью поглощается в поверхностных слоях кожи (главным образом, в эпидермисе) [3,4]. Поэтому можно предположить, что существенные для организма первичные эффекты взаимодействия мм-волн с биологическими структурами происходят в коже. Масса кожи составляет 20% от общей массы тела человека и принимает участие в обеспечении защитных, иммунных, рецепторных, терморегуляционных функций организма, и в связи с этим содержит большое количество различных элементов: клеток, волокон, рецепторов, желез, сосудов и пр. [5]. Экспериментально показано, что под влиянием мм-излучения изменения происходят во всех структурных элементах кожи. Так, гистологическим методом обнаружено, что в коже облучаемых животных наблюдается гиперемия сосудов микроциркуляции, диоперез эритроцитов, дегрануляция тучных клеток [6]. Высокая чувствительность к мм-волнам была выявлена на препарате мочевого пузыря лягушки и у механорецепторов, которые представляют наиболее распространенный тип чувствительных образований, проницаемых для мм-излучения слоев кожи человека и животных [7], а также на примере механорецепторов бабочки [8].

Установлено, что мм-воздействие на кожную поверхность области операции стимулирует регенерационные процессы в нерве. Наблюдалось ускорение роста нервных волокон в процессе их миелинизации, а также изменение физиологических характеристик нервного волокна [9].

Мм-волны могут оказывать непосредственное воздействие не только на элементы кожи и отдельные нервные волокна, но и на нейроны обнаженной коры головного мозга [10]. При этом паттерн реакции был сходен с известными в сенсорной физиологии ответами на внешний стимул, а сама реакция отмечалась как на включение, так и на выключение поля.

Воздействие мм-излучения на очаги возбуждения, созданные аппликацией растворов стрихнина и пенициллина в коре ненаркотизированных кошек, подавляло суммарную нейронную активность, что свидетельствует о противосудорожном эффекте мм-волн [11]. Однако наиболее выраженное действие наблюдалось в условиях нембуталового наркоза [12], когда противосудорожное действие отмечалось на моделях как одиночного эпилептического очага, так и многоочагового комплекса, кроме того, отсутствовало восстановление активности одиночных очагов после прекращения воздействия.

При изучении опосредованного действия мм-излучения на целостный организм животных выявлено изменение их поведенческих реакций. Так, в работе [13] было показано, что КВЧ поле с длиной волны 7,1 мм способно модифицировать при облучении затылка условнорефлекторную деятельность крыс, что проявлялось в ускорении переделки ранее выработанного условного пищевого рефлекса и замедляло возникновение нарушений в условно–оборонительных рефлексах.

О чувствительности нервной системы к действию мм-волн свидетельствуют косвенные данные: эффективность применения мм-терапии при депрессивных состояниях [14], нормализация функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС) при мм-терапии различных заболеваний [15 и др.]. При мм-воздействии в клинических условиях отмечалась нормализация показателей ЭЭГ — снижение мощности медленноволнового компонента и восстановление нарушенных межзональных различий [16].

Все вышеизложенное определило задачи нашей работы — изучение влияния низкоинтенсивного мм-воздействия на ЦНС здорового человека при периферическом воздействии.

Выбор периферического воздействия (а не общего) также определялся рядом причин: во-первых, желанием получить ответ на вопрос — могут ли такие слабые, неспецифические стимулы, как низкоинтенсивные электромагнитные поля (ЭМП), вызвать ответ в центральных отделах нервной системы; во-вторых, тем, что при мм-терапии используется, главным образом, рефлекторное воздействие (зоны Захарьина–Гедда, биологически активные точки); в-третьих, при гигиеническом нормировании специалисты на производстве чаще сталкиваются с ситуацией, когда в зону действия ЭМП попадают руки работающих.

СЕНСОРНЫЕ РЕАКЦИИ НА РАЗЛИЧНЫЕ ЭМП ПРИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Несмотря на отдельные публикации [17, 18] долгое время было распространено мнение, что биологическое действие ЭМП реализуется у человека на субсенсорном уровне. Однако в последние годы наблюдается интерес к сенсорной индикации в виде "радиозвука", магнитофосфена или кожных ощущений. В 70-х годах прошлого века обнаружили, что переменное магнитное поле (МП), действующее на голову субъекта, может вызывать у него ощущение вспышек света, т.е. магнитофосфен. Наилучшие ощущения магнитофосфена возникали при частоте 10–20 Гц с индукцией 20 мТл [19]. В 80-х годах прошлого века стали описывать ощущения у людей при воздействии постоянным магнитом на кожную поверхность в виде покалываний, зуда, тяжести [17]. В 60-х годах нашего столетия обнаружили, что радиоволны, модулированные звуковой частотой, могут ощущаться в виде свиста, жужжания или щелканья. Предполагали, что ощущение вызывается или непосредственно действием ЭМП на ткань мозга, или через возбуждение улитки уха посредством механических перемещений, вызванных ЭМП [20]. В 1976 году Ю.А.Холодовым был предложен метод сенсорной индикации МП. Модификацию этого психофизического метода мы и применяли в наших экспериментах, изучая кожные ощущения, возникающие при воздействии поля.

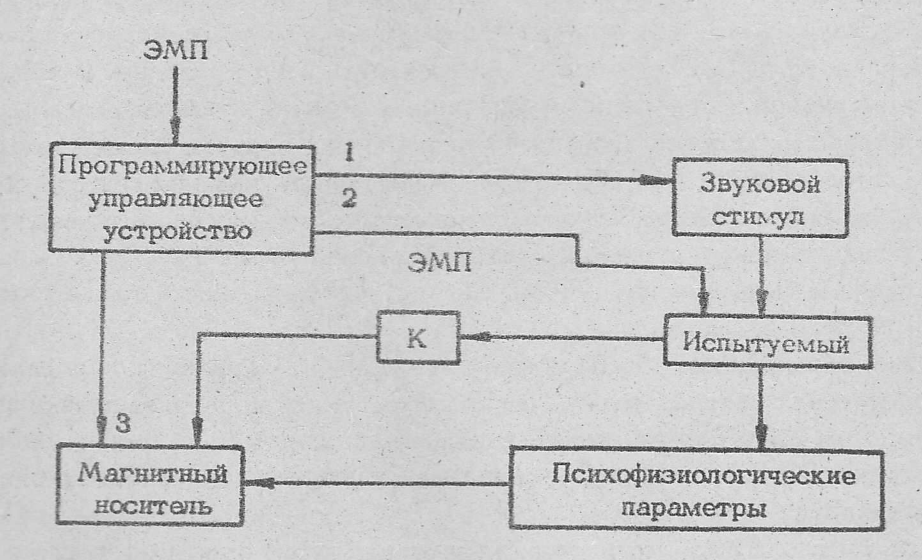


Рис. 1: Схема экспериментальной установки.

Была создана экспериментальная установка для изучения сенсорной реакции в автоматизированных опытах с учетом требований современного психофизического исследования (рис.1). Основным узлом установки

является программирующее управляющее устройство, которое производит дозированную во времени подачу ЭМП сигналов, а также осуществляет ложные предъявления. ЭМП сигналы подаются в случайном порядке с равномерным распределением. Одновременно с управляющим воздействием испытуемому через динамик подаются звуковые сигналы начала (1 щелчок) и конца (2 щелчка) предъявления, а с выхода 3 — начало и конец каждого воздействия в соответствующем кодовом изображении для разных видов сигналов записывается на магнитный носитель. Таким образом, ни испытуемый, ни экспериментатор не знали, какой сигнал в каждый данный момент подавался. Испытуемый в момент ощущения нажимал кнопку K, сигнал от которой подавался на другой канал магнитного носителя, что позволяло фиксировать величину латентного периода реакции $T_{лат}$. Время предъявления ЭМП сигнала или пустой пробы — 1 минута, интервал между пробами также составлял около 1 минуты. Если испытуемый распознавал поле раньше минуты, то нажатием на кнопку К он прекращал подачу ЭМП. После этого испытуемый давал словесный отчет о возникших ощущениях.

Для оценки ЭМ чувствительности использовали показатели прочности реакции — **ПрР** (отношение числа правильно распознанных проб к общему числу ЭМП сигналов) и уровня ложных тревог — УрЛТ (отношение числа утвердительных ответов к общему числу пустых проб). Кроме этого, испытуемые оценивали наличие или отсутствие поля в пробе по 4-м категориям. Эти результаты были необходимы для построения рабочих характеристик приемника (РХП) — зависимости вероятности распознавания от вероятности появления ложных тревог. При анализе $T_{лат}$ строили суммарные гистограммы истинных реакций и ложных тревог.

В экспериментах участвовали 40 практически здоровых испытуемых обоего пола в возрасте от 17 до 35 лет. Испытуемый располагался в звукоизолированной экранированной экспериментальной камере. Воздействие осуществляли попеременно на кисть правой или левой рук. С каждый испытуемым было проведено по 10 опытов, т.е. было дано в общей сложности по 200 предъявлений.

Первичные данные обрабатывались на ЭВМ PC-Amstrad по программам Statgraph с использованием непараметрических критериев оценки достоверности различий (знаковый критерий для парных выборок и критерий Манна-Уитни), а также t — критерия Стьюдента для альтернативной изменчивости.

Для контроля физиологического состояния перед опытом и после измеряли артериальное давление и частоту пульса.

Для изучения электромагнитной чувствительности человека в ЭМП КВЧ использовали специальный генератор на диоде Ганна с частотой 37,7 ГГц (длина волны — 8 мм), падающая мощность на раскрыве рупора 15 мВт/см^2, а также терапевтические аппараты "Явь-1" с частотой

42,25 ГГц (длина волны 7,1 мм), частотой 53,57 ГГц (длина волны 5,6 мм) с падающей мощностью на конце гибкого диэлектрического волновода 5 мВт/см^2 и аппарат "Шлем" с центральной частотой излучения 42,2 ГГц и полосой одновременно излучаемых частот 200 МГц, с падающей мощностью на раскрыве рупора 10 мВт/см^2. Во всех сериях полем воздействовали на правую и левую руку на тыльную сторону кисти в области биологически активной точки ХЭ-ГУ (4 Gi).

Сводные данные приведены в таблице.

Таблица

Серия	Частота ЭМП	Число испытуемых	Прочность реакции, %	Уровень ложных тревог, %
I	37.7 ГГц	I гр – 3 чел II гр – 7 чел	67.7± 6.4 53.5±4.9	35.6±9.3 51.3±8.6
II	42.25 ГГц ("Явь–1")	I гр – 8 чел II гр – 2 чел	64.3±10.5 59.0±14.2	20.6±11.2 43.5±16.2
III	42.2 ГГц±200 МГц ("Шлем")	I гр – 5 чел II гр – 5 чел	63.0±10.5 44.0±3.3	45.5±10.0 45.3±13.6
IV	53.57 ГГц ("Явь–1")	I гр – 7 чел II гр – 3 чел	69.1±8.7 49.8±9.7	31.4±7.1 48.8±11.2

Из таблицы можно видеть, что наибольшее число испытуемых из группы хорошо распознает ЭМП КВЧ диапазона "терапевтических" длин волн — 7,1 и 5,6, создаваемых аппаратами "Явь–1". Хуже всего распознается КВЧ сигнал с длиной волны 8 мм (37,7 ГГц).

Анализ латентных периодов свидетельствует о том, что при восприятии ЭМП мм-диапазона не происходит разделение испытуемых на группы по времени реакции, как в случае с магнитными полями инфранизкой частоты (МП ИНЧ) [21] — практически ни в одной серии нет ни "короткодатентных", ни "среднелатентных" испытуемых. Гистограммы распределения $T_{лат}$ — мономодальна. Среднее значение латентного периода составило 46,1±5,8 с (рис.2).

По модальности ощущений преобладали реакции типа давления (46,7%), покалывания (36,3%), зуда (8,9%), термальные (5,3%), прочие ощущения (2,8%). Все ощущения локализовались, главным образом, в области ладони.

С целью выяснения существования сенсорной асимметрии при действии такого неспецифического раздражителя как ЭМП поле в опытах подавалось попеременно на левую и на правую руки. С использованием

тестов на моторную и сенсорную асимметрию — переплетение пальцев "поза Наполеона", аплодирование, проба Розенбаха, тест "тиканье часов" — было выявлено, что среди испытуемых два амбидекстра, трое — левшей, остальные — правши. В экспериментах амбидекстры (все они оказались хорошо распознающимися) различали поле при подаче как на левую, так и на правую руки. Остальные испытуемые достоверно отличали ЭМП от пустых проб неведущей рукой (левши — правой, правши — левой) (рис.3).

Во всех сериях у испытуемых проводили замеры электрического и болевого порогов. Отмечено, что у хорошо распознающих ЭМП испытуемых эти пороги ниже (7,6–13,6 В и 12,1–27,3 В соответственно) при длительности импульса 5 мс и частоте 1 Гц, чем у плохо распознающих (13,6–18,2 В и 27,3–36,4 В). У двух испытуемых, которые поле не распознавали совсем, пороги составили: электрический — 36,4, болевой — более 45,5 В.

Анализ данных физиологического контроля свидетельствует о том, что после опытов в 43,3% случаев наблюдалось незначительное повышение частоты пульса, в 40,0% – его незначительное снижение, в 16,7% — изменений не было; пульсовое давление в 56,7% — снижалось, в 16,7% — имело тенденцию к повышению, в 26,6% случаев изменений не было.

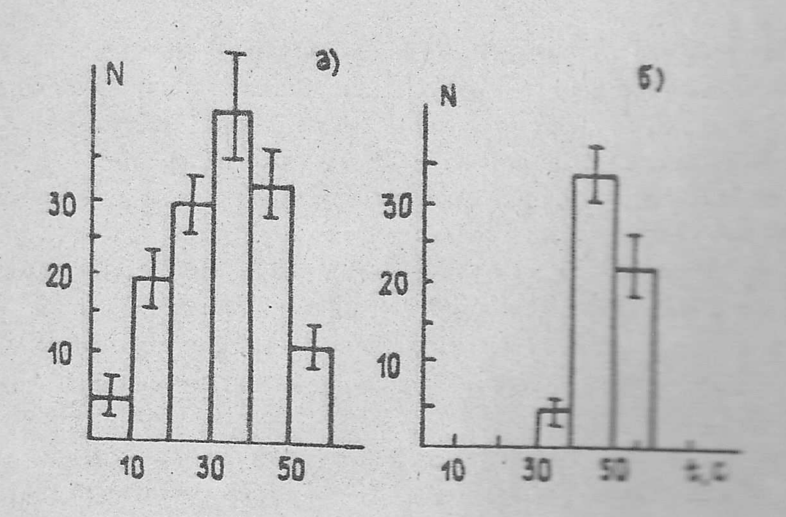


Рис. 2: Гистограммы распределения латентных периодов $T_{лат}$ при сенсорной индикации МП ИНЧ (а) и КВЧ излучением (б).

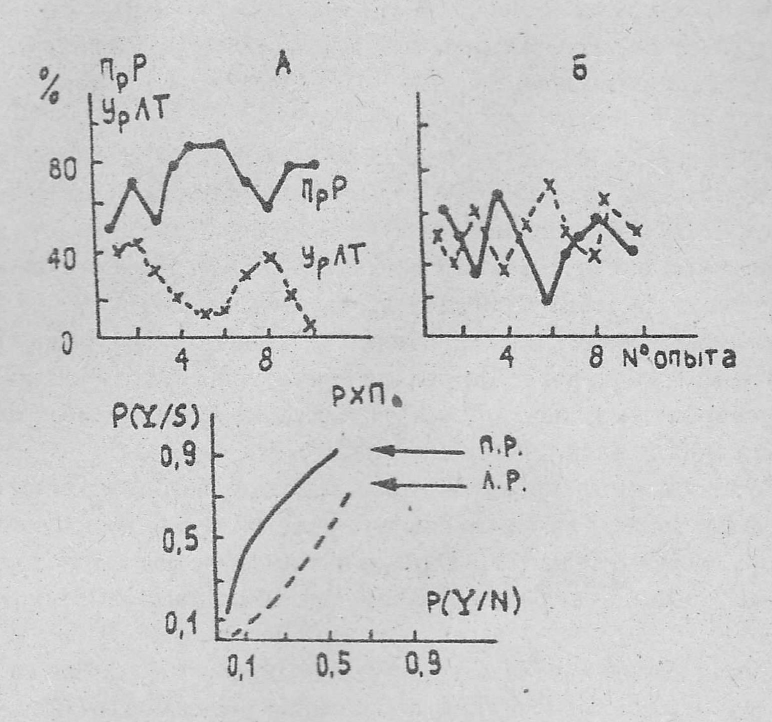


Рис. 3: Динамика показателей P прочности реакции **ПрР** и уровня ложных тревог **УрЛТ**, а также РХП у испытуемого — левши при сенсорной индикации правой (А) и левой (Б) руками.

Основные выводы из анализа результатов по исследованию ЭМ чувствительности человека состоят в следующем.

1. Человек способен достоверно различать ЭМ сигналы от пустых проб.

2. ЭМ чувствительность человека, кроме его индивидуальных особенностей, определяется биотропными параметрами поля — частотой, формой импульса, экспозицией, локализацией.

3. Модальность возникших ощущений (давление, покалывание, прикосновение, "мурашки", жжение) свидетельствует об участии в рецепции ЭМП кожного анализатора.

4. Латентный период реакции на ЭМП в среднем составил десятки секунд (20–60 с).

5. Выявлена асимметрия восприятия ЭМП в зависимости от того, на какую руку (правую или левую) осуществлялось воздействие.

Полученные результаты представляются весьма интересными по трем причинам. Во-первых, у человека не обнаружено специфического рецепторного аппарата для восприятия ЭМП; во-вторых, такие большие латентные периоды не характерны для известных сенсорных систем, где

они обычно составляют сотни мс; в-третьих, многие годы у ученых существовало убеждение, что восприятие ЭМП может осуществляться только на подсознательном уровне, т.е. что ЭМП является неосознаваемым раздражителем.

Какие же рецепторы могут стать приемниками ЭМ стимула? Видимо, стоит выделить два элемента рецепции — 1) механизм первичного взаимодействия ЭМП с веществом биологического объекта; 2) собственно механизм рецепции биологическим объектов ЭМП. Первый механизм является предметом изучения биофизиков. Даже слабые ЭМП через магнитные и спиновые эффекты могут влиять на кинетику (направленности и скорость) химических реакций, реакций рекомбинации с участием радикалов с неспаренными электронами, которые обладают моментами количества движения и магнитными моментами.

Еще более сложные процессы происходят при облучении поверхности кожи КВЧ полем, когда главным "приемником" энергии становятся свободные молекулы воды [22]. Однако нас интересуют физиологические "вторичные" механизмы рецепции, которые обеспечивают реакцию ЦНС на ЭМП.

По анализу возникающих у испытуемых субъективных ощущений это могут быть или механорецепторы, или болевые рецепторы, или свободные нервные окончания — немиелинизированные эфферентные волокна без корпускулярных структур на конце.

Такая модальность как механорецепция, или тактильная чувствительность объединяет четыре качества: ощущения прикосновения, давления, вибрации, щекотания.

Из сенсорной физиологии известны следующие виды механорецепторов: очень быстро адаптирующиеся — тельца Пачини; быстроадаптирующиеся — тельца Мейснера и рецепторы волосяного фолликула и медленно адаптирующиеся — тактильные диски, диски Маркеля, окончания Руффини. Видимо, не стоит рассматривать быстроадаптирующиеся механорецепторы — тельца Мейснера и рецепторы волосяного фолликула, поскольку разряд в них прекращается через 50–100 мс после включения адекватного стимула, а для рецепции таких неспецифических и слабых стимулов, какими являются низкоинтенсивные ЭМП, нужны либо медленно адаптирующиеся рецепторы, либо рецепторы с фоновой активностью, а лучше — то и другое вместе. Из механорецепторов такими могут быть только окончания Руффини, тактильные диски, диски Маркеля.

Механорецепторы с немиелинизированными афферентными волокнами чувствительны к слабым прикосновениям. Их скорость проведения в 50 раз меньше, чем у афферентных волокон других рецепторов. Предполагается, что механорецепторы без корпускулярных структур являются пороговыми датчиками, сигнализирующими лишь о появлении стимула.

Кроме того, у целого ряда свободных нервных окончаний рецепторные

функции пока неясны.

Болевые рецепторы (ноцицепторы) кожи представляют собой свободные нервные окончания с тонкими миелинизированными или немиелинизированными нервными волокнами. Предположение о том, что ноцицепторы могут осуществлять рецепцию ЭМ сигнала основывается на следующем: полиспецифичность по отношению к стимулам; модальность ощущений — покалывание, жжение, которые специалистами трактуются как "предболь"; опыты, показавшие исчезновение ЭМ чувствительности людей при обработке кожи в месте воздействия хлоретилом, выключающим болевые рецепторы [23]; факты из лечебной практики — при воздействии КВЧ волн на соответствующий дерматом в больном органе возникает сенсорный отклик, что может быть следствием конвергенции ноцицептивных афферентов от дерматомов внутренних органов на одни и те же нейроны болевых путей, при этом возникает гиперчувствительность кожи из-за того, что висцеральные импульсы повышают возбудимость вставочных нейронов и возникает фасилитация ("облегчение").

Непривычно велики латентные периоды сенсорных реакций на ЭМП воздействие. В каком месте рефлекторной дуги могут "набегать" такие задержки, которые на три порядка превышают время реакции в зрительной, слуховой сенсорных системах? Фактически рефлекторная дуга при сенсорных реакциях состоит из четырех основных блоков: рецептивное поле — проводящие пути — подкорковый блок анализа стимулов — корковый блок анализа, формирования ощущения и вербализации. В первом блоке при "работе" любых рецепторов больших задержек возникнуть не может. Во втором блоке могут возникнуть значительные времена при условии многих синаптических переключений, проведения афферентных сигналов по немиелинизированным нервным волокнам, включения гуморальных звеньев. В третьем и четвертом блоках также могут возникнуть существенные задержки из-за трудностей идентификации такого неспецифического сигнала, как ЭМП.

При изучении соматосенсорной системы принято подразделять афферентные, центростремительные пути и соответствующие центральные отделы на филогенетически молодую специфическую и филогенетически старую неспецифическую системы. Термин "специфическая соматосенсорная система" применяется к тем центральным нервным компонентам, которые имеют только один анатомически и нейрофизиологически идентифицируемый главный вход от одной периферической сенсорной поверхности (механорецепторы кожи, рецепторы глаза и внутреннего уха). В неспецифической системе афферентные входы не так четко определены, система может возбуждаться сигналами, сходящимися от всех сенсорных поверхностей (полимодальная или полисенсорная конвергенция).

В специфической части соматосенсорной системы (называемой также лемнисковой системой, поскольку одним из важнейших ее трактов, явля-

ется медиальный лемниск, идущий от продолговатого мозга в таламус) кожные афференты проецируются в две кортикальные зоны теменной области SI и SII. Эта система содержит всего три синапса — в ядрах заднего столба продолговатого мозга, в вентробазальных ядрах таламуса и в коре больших полушарий, поэтому сигналы от периферии в центр передаются быстро. Характерной особенностью специфической системы является ее соматотопическая организация, упорядоченное (топографическое) отображение кожи, периферической сенсорной поверхности на всех "станциях" переключения.

В неспецифической соматосенсорной подсистеме, называемой экстралемнисковой, наиболее важными компонентами являются ретикулярная формация ствола мозга и неспецифические ядра таламуса. Эта система связана практически со всеми областями коры больших полушарий. Эти связи диффузны и в них почти совсем отсутствует соматотопическая организация. Кроме того, существуют связи с гипоталамусом, с лимбической системой и подкорковыми центрами моторной коры. Основные функции неспецифической системы — эмоциональная окраска восприятия, контроль состояния сознания, ориентировочные реакции. Учитывая все вышесказанное, представляется логичным предположить, что, главным образом, экстралемнисковая соматосенсорная система обеспечивает проведение и восприятие ЭМ стимула. В рамках этого предположения можно объяснить и те положительные эмоции, которые возникают у больных при ЭМ терапии, о чем так часто сообщают врачи.

Хотелось бы отметить хорошие количественные совпадения наших экспериментальных данных по сенсорной индикации КВЧ излучения с физиологической гипотезой И.В.Родштата [24] в части его расчетов времени рефлекторной дуги при воздействии мм-волн. Действительно, если в опытах по изучению ЭМ чувствительности человека к инфранизкочастотным МП испытуемые практически всегда разделялись на три группы по времени реакции — "коротколатентные" (лат. = 5–20 с), "среднелатентные" (лат. = 20–40 с) и "длиннолатентные" (лат = 40–60 с), [21], то при сенсорной индикации КВЧ поля гистрограмма распределения латентных периодов имела единственный пик в области 40–50 с и очень малый разброс (рис.2). В подсчетах И.В.Родштата КВЧ стимул проходит по рефлекторной дуге, включающей "тихоходное" нейрогуморальное звено, в течение 40–60 с. По его гипотезе поглощение энергии мм-волн осуществляет связанная вода коллагена; в силу этого происходят изменения электронного состояния коллагена и, следовательно, его пьезоэлектрических свойств; возбуждение чувствительного нервного волокна возникает от механической деформации коллагенового в виду их непосредственной сопряженности, в частности, в тельцах Руффини, которые обладают фоновой активностью. Далее через полисинаптические пути происходит возбуждение преганглионарных синаптических нейронов боковых рогов

спинного мозга и возбуждение расположенных в вегетативных ганглиях МИФ нейронов, которые выделяют в синаптические щели и сосудистое русло адреналин (А) и норадреналин (НА). Так что подключение церебральных механизмов осуществляется с помощью гуморального фактора (А и НА МИФ нейронов).

Экспериментальные данные Н.П.Залюбовской [25] подтверждают эту гипотезу — при воздействии мм-волн на организм было обнаружено повышение А и НА в крови и надпочечниках, А — в гипоталамусе и НА — в коре больших полушарий мозга.

Таким образом, можно говорить о медленной системе начального реагирования при восприятии ЭМП, которая включает в себя как нервное, так и гуморальное звено.

Проблема восприятия низкоинтенсивных ЭМП является частью сенсорной физиологии слабых сигналов и представляется в настоящее время еще весьма далекой от разрешения.

Сенсорная физиология или психофизика, которая включала в себя такие подразделы как объективная и субъективная сенсорная физиология, изучает сенсорные реакции живого организма на воздействие различных факторов окружающей среды. Однако до последнего времени все психофизические исследования касались, главным образом, раздражителей, имеющих специфический для них рецепторный аппарат — свет, звук, холод — тепло, болевые стимулы, различные виды тактильных раздражений (вибрация, давление, прикосновение и т.п.). Электромагнитные поля следует отнести к неспецифическому виду раздражителей, т.к. в настоящее время, по крайней мере, у человека, не известны специфические рецепторы, которые воспринимали бы ЭМ излучение. Кроме того, применяемые нами в опытах ЭМП являлись низкоинтенсивными, и в связи с этим существует проблема выделения сигнала из шума, поскольку собственные шумы сенсорной системы могут вызывать такие ее ответы, которые не отличаются качественно от ответов, возникающих под действием сигналов ложной тревоги. Чтобы учесть эти шумы, мы применяли в опытах ложные воздействия ("пустые пробы").

Что же может быть источником ложных тревог в сенсорной системе? Их несколько.

В основе каждого ощущения как образа сигнала, сколь бы он слабым ни был, лежит специфический пространственно–временной паттерн возбуждений. Соответствующие сигналу упорядоченные паттерны могут возникать на основе временных связей по механизму условного рефлекса, в частности, условного рефлекса на время, если интервалы подачи сигналов остаются достаточно постоянными (что имело место в наших опытах). Следовательно не исключено, что ощущение может возникать условно–рефлекторным путем и быть сенсорным источником реакций ложной тревоги. Результаты ряда исследований подтверждают воз-

можность условно–рефлекторного вызова ощущений слабого сигнала разных модальностей [26, 27].

Еще одним источником возникновения упорядоченного паттерна возбуждений, в отсутствие сигнала, может стать "предпусковая интеграция" — скрытое афферентно–эфферентное образование, возникающее в результате частичного афферентного синтеза при ожидании пускового сигнала, т.е. скрытая система возбуждений, приготовленная различными предшествующими условиями, способная сформировать реакцию, как только подействует пусковой стимул [28].

Особенно очевидна приспособительная роль такой интеграции при обнаружении слабых сигналов, когда находящаяся в состоянии скрытого возбуждения система уже подготовлена к ответу и может актуализироваться при действии очень слабых афферентаций. "Предпусковая интеграция" — это физиологический механизм, обеспечивающий состояние селективного внимания при выполнении задачи восприятия слабого сигнала. При низком уровне интеграции человек не ощущает и не осознает слабых сигналов, а при высоком уровне у него могут возникать ложные тревоги.

Еще одним источником ложных тревог может стать использование испытуемых в опытах стратегии угадывания, когда ответы о наличии сигнала, как и ложные тревоги, не основываются на ощущениях.

"Объективизировать" субъективные ощущения в опытах по восприятию слабых сигналов можно специальными методическими приемами проведения эксперимента, набором достаточно большого количества экспериментальных данных для статистической обработки.

Вероятнее всего, что у плохо распознающих испытуемых "работают" все три источника ложных тревог, тогда как у хорошо распознающих, главным образом, "предпусковая интеграция", которая наряду с ложными тревогами обеспечивает высокий уровень селективного внимания для восприятия низкоинтенсивных ЭМП.

3. ЭЭГ РЕАКЦИИ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ПРИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Одним из важнейших показателей функционального состояния организма является его церебральная деятельность, оцениваемая параметрами ЭЭГ, ритмы которой отражают нейрональные связи, объединяя разные зоны коры и подкорковых образований в динамические рабочие ансамбли.

Использование современных методов анализа ЭЭГ на ЭВМ, а также системный подход к деятельности мозга человека дали толчок к развитию направления работ, позволяющих судить о функционировании мозга на основании изучения пространственно–временной организации его электрических процессов и позволили высказать определенные суждения о

происхождении разных форм биоэлектрической активности и изменении их при различных функциональных состояниях [26, 27].

Изменение ЭЭГ под влиянием ЭМП изучались, главным образом, животных — кроликов, крыс, обезьян [28, 29], при этом в исследованиях применяли общее воздействие, когда в зону действия ЭМП попадал весь организм, включая головной мозг. В доступной нам литературе экспериментальных работ по изучению электрофизиологических реакций ЦНС у человека при переферическом воздействии ЭМП практически нет за исключением работ Л.Клитцинга, который наблюдал изменения фоновой ЭЭГ человека при периферическом воздействии достаточно интенсивных ПМП (свыше 0,2 Тл). При этом спектр ЭЭГ сдвигался в сторону преобладания медленных волновых процессов [33].

Для воздействия использовали ЭМП синусоидальной формы частотой 37,7 ГГц с падающей мощностью на раскрыве рупора 15 мВт/см^2 и 42,25 ГГц с плотностью падающей мощности (ППМ) на конце диэлектрического волновода 5 мВт/см^2.

В опытах участвовали 39 практически здоровых испытуемых в возрасте от 20 до 35 лет.

Проводили пять опытов с плацебо и 10 опытов воздействием поля, из них в 5 экспериментах воздействовали на кисть правой руки и в 5 — на кисть левой руки. Раскрыв волновода помещался на тыльной стороне кисти в зоне биологически активной точки ХЭ–ГУ (4 Gi).

Во время опыта испытуемый размещался в удобном кресле в экспериментальной изолированной камере. Экспозиция поля составляла 60 или 30 минут. До и после опыта для контроля физиологического состояния измеряли артериальное давление и пульс.

Пере началом воздействия и сразу после него проводили записи ЭЭГ с восьми отведений в лобных ($F_3 - F_4$), центральных ($C_3 - C_4$), теменных ($P_3 - P_4$) и затылочных ($O_1 - O_2$) областях обоих полушарий. Регистрацию ЭЭГ осуществляли на электроэнцефалографе ЕЕС–16 (Венгрия). В качестве индифферентного использовался объединенный ушной электрод.

Параллельно с записью на энцефалографе ЭЭГ вводилась в режиме "on–line" в ЭВМ PC–Amstrad для обработки по методу быстрого преобразования Фурье. Эпоха анализа — 12,5 с, пять отрезков по 2,0 с. Исследовали частоты от 0,3 до 30 Гц. Вычисляли спектры мощности и уровень когерентности как для каждого диапазона (дельта-1, дельта-2, тета-1, тета-2, альфа, бета-1, бета-2), так и для всей излучаемой полосы частот, а также величину среднего уровня когерентности КОГ$_{ср}$. Полученные данные подвергали вторичной статистической обработке по специальной программе.

Кроме того, для оценки текущих изменений пространственно-временной организации биопотенциалов неокортекса во время действия ЭМП при анализе ЭЭГ был применен метод хаотической динамики [34,

35]. Этот метод является наиболее адекватным в тех случаях, когда исследуемая система характеризуется сложным некогерентным поведением во времени, и позволяет достаточно точно определить момент времени, в который система переходит в новое состояние. Расчет параметров структуры странного аттрактора дает возможность получить большой объем информации об исследуемой системе. Для описания странного аттрактора использовались размерность аттрактора P и метрическая энтропия K, для чего был создан специальный алгоритм обработки ЭЭГ [36].

Запись ЭЭГ для формирования файлов проводили в трех состояниях — в фоне, до начала воздействия, в течение 30 минут экспозиции ЭМП КВЧ и после окончания воздействия по четырем парным отведениям ($F_3 - F_4$, $C_3 - C_4$, $P_3 - P_4$ и $O_1 - O_2$) на ЭВМ PC-Amstrad. Для исследования использовали частоты от 0,05 до 30 Гц. Частота опроса по каждому из восьми каналов составляла 60 Гц.

Экспозиция ЭМП в течение 60 минут на кисть руки оказывала влияние на межцентральные отношения всего мозга. При этом выраженность возникающих перестроек пространственно-временной организации биопотенциалов определялась тем, на какую руку — правую или левую — воздействовали полем, а также частотой действующего ЭМП.

Анализ спектра мощности и показателей уровня когерентности КОГ$_{ср}$ свидетельствует о том, что основные изменения электрических процессов мозга, возникающие в результате воздействия ЭМП, происходят в медленноволновом диапазоне дельта- и тета-ритмов лобно-центральных областей коры. Однако характер этих изменений зависел от частоты действующего ЭМП.

В исследуемой группе испытуемых, несмотря на присущие каждому индивидуальные особенности, можно выделить ряд общих закономерностей межцентральных отношений в фоновой ЭЭГ: межполушарные связи чаще максимально выражены в теменных и лобно-центральных областях (со средним уровнем когерентности порядка 0,6–0,8) со слабой сочетаемостью в затылочных (средний уровень КОГ$_{ср}$ порядка 0,3–0,5). Что касается внутриполушарных связей коры, то испытуемые разделились на две группы. В одной — направленность и величины КОГ$_{ср}$ в правом и левом полушариях практически не отличались, т.е. отсутствовали межполушарные различия в сочетаемости электрических процессов. В другой группе более высокий уровень КОГ$_{ср}$ наблюдался в левом, доминантном полушарии. Тесты на право-леворукость показали, что 30 испытуемых — правши.

При анализе спектрального состава фоновой ЭЭГ также можно выделить две неравные группы: подавляющее большинство испытуемых (33 человека) имело в спектре выраженный альфа-ритм, главным образом, в затылочных и теменных областях; остальные испытуемые имели "рассеянный" тип спектра, со слабой мощностью альфа-ритма.

В опытах с плацебо основные перестройки корковой ритмики можно охарактеризовать следующим образом: либо это снижение $КОГ_{ср}$, особенно в дельта-тета-диапазоне, либо сохранение фонового уровня, либо его незначительное повышение в отдельных диапазонах. Анализ спектра мощности показывает, что происходит снижение мощности ритмов, более выраженное в дельта-тета-диапазонах, и некоторое ее повышение в альфа-диапазоне. Таким образом, в результате опытов с плацебо (т.е. пребывания испытуемого в течение 60 минут в состоянии покоя в звукоизолированной камере) возникло состояние своеобразной "реакции ожидания" с особой пространственно–временной организацией биопотенциалов коры головного мозга.

ЭЭГ реакции человека на периферическое воздействие мм-излучения имеют много общего с воздействием МП ИНЧ [21] — это и реактивность передне–центральных отделов коры головного мозга в медленно–волновом диапазоне и зависимость ответа от сенсорной и функциональной асимметрии. Однако воздействие мм-волн определяет и ряд особенностей субсенсорной реакции. Во-первых, в отличие от МП ИНЧ при действии мм-излучения в спектре ЭЭГ наиболее реактивным становится альфа-ритм. При этом после воздействия происходит значительное повышение его мощности (рис.4). Кроме того, у испытуемых с выраженным пиком альфа-ритма в фоновой ЭЭГ возникает его сдвиг в полосу более высоких частот (рис.5). У испытуемых с "рассеянным" типом фоновой ЭЭГ в результате КВЧ воздействия появляется выраженный альфа-пик (рис.6).

Во-вторых, повышение среднего уровня когерентности биопотенциалов $КОГ_{ср}$ происходит только в передне–центральных отделах неокортекса (в дельта-тета-диапазоне) и практически никогда не бывает ответа в теменных областях коры (рис.7).

В-третьих, возникающие перестройки биопотенциалов всегда (при действии и на правую, и на левую руки) значительнее в правом полушарии, чем в левом. Однако при действии поля на правую руку все реакции более выражены, чем при действии на левую. Описанные выше экспериментальные результаты получены при действии КВЧ излучения частотой 42,25 ГГц и экспозицией 60 минут.

Внутри мм-диапазона было исследовано влияние излучений двух частот 37,7 ГГц (длина волны 8 мм) и 42,25 ГГц (длина волны 7,1 мм). Полученные данные свидетельствуют о существенной роли в реализации не только сенсорных, но и субсенсорных реакций такого биотропного параметра ЭМП, как частота ЭМ сигнала.

При действии ЭМИ с частотой 37,7 ГГц достоверных измерений показателя $КОГ_{ср}$ не обнаружено: в одной группе испытуемых действие показателя вызывает незначительное повышение среднего уровня когерентности более выраженное в теменно–затылочных областях, в другой группе незначительное его снижение практически по всей коре.

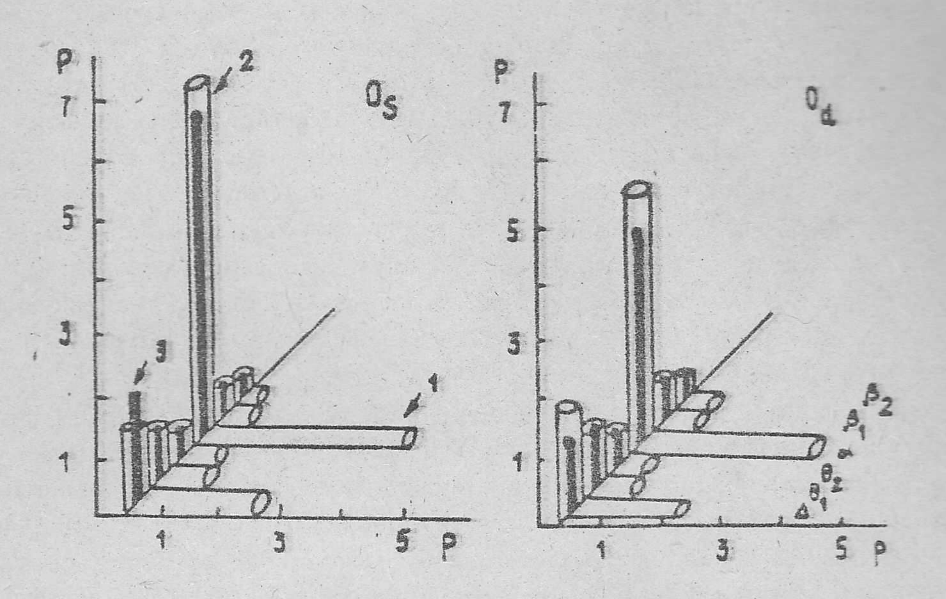


Рис. 4: Динамика мощности ритмов (P) ЭЭГ (в % к фону) в затылочных областях левого (O_s) и правого (O_d) полушарий в опытах с плацебо (1) после 60-минутной экспозиции КВЧ (2 — при воздействии на правую руку, 3 — при воздействии на левую руку).

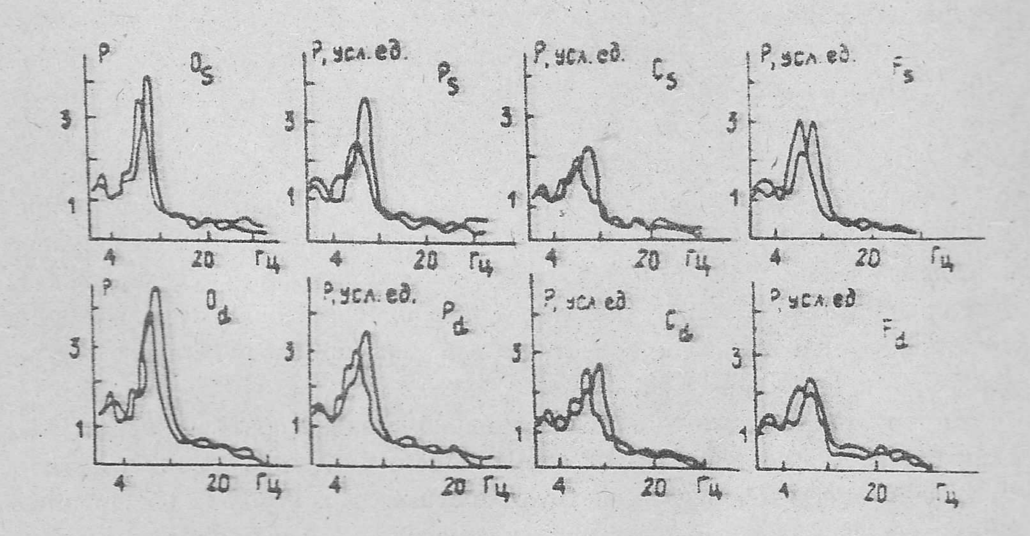


Рис. 5: Спектральная мощность (P) ЭЭГ у испытуемого с выраженным альфа–ритмом до (-) и после (-) 60-минутной экспозиции КВЧ в левой (F_s, C_s, P_s, O_s) и правой (F_d, C_d, P_d, O_d) гемисферах.

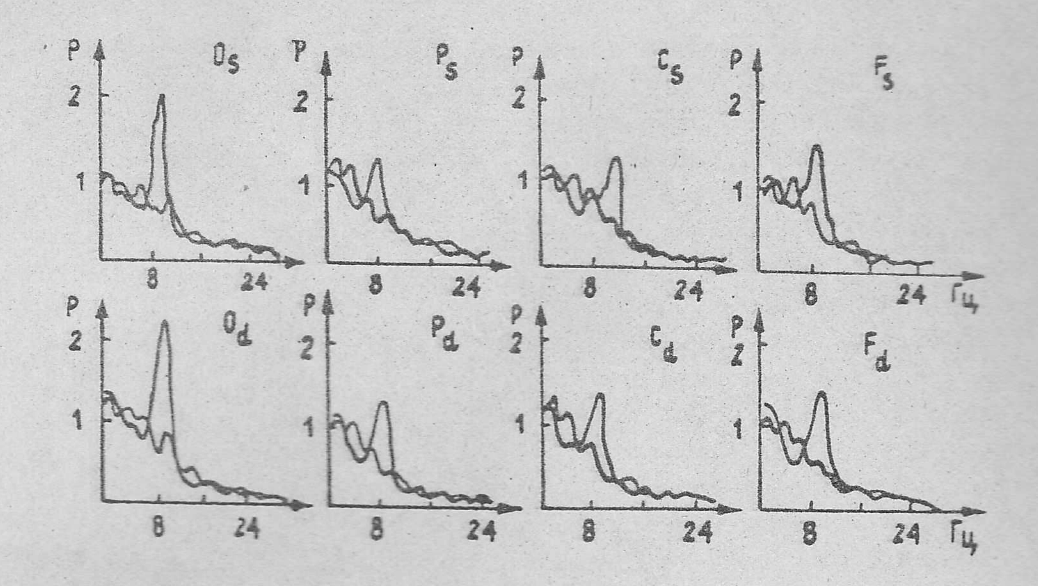


Рис. 6: Спектральная мощность (P) ЭЭГ у испытуемого с "рассеянным" типом фоновой ЭЭГ до (-) и после (-) 60-минутной экспозиции КВЧ в левом и правом полушариях.

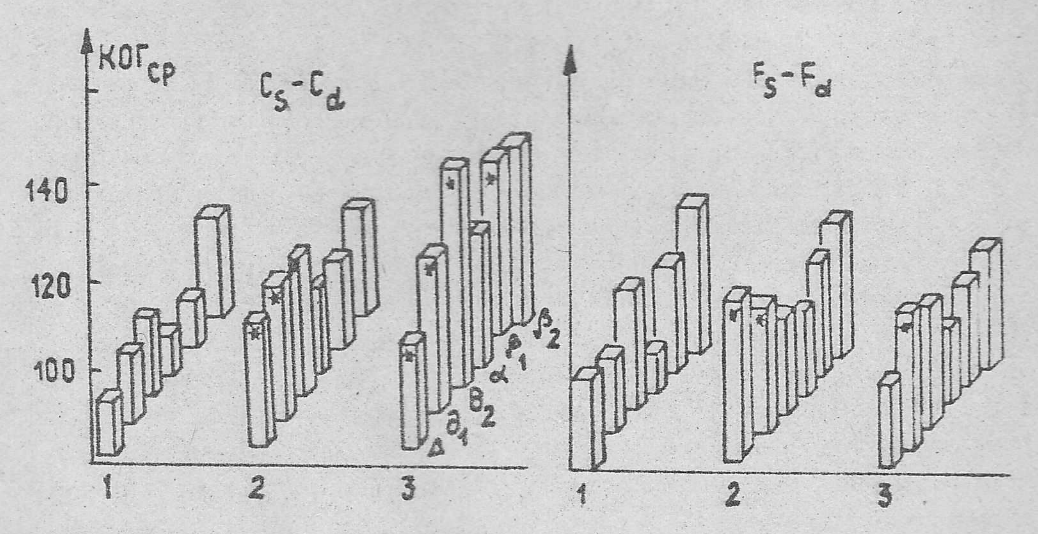


Рис. 7: Динамика показателя $КОГ_{ср}$ в передне–центральных областях неокортекса ($C_s - C_d$, $F_s - F_d$) (в % к фону) в опытах с плацебо (1) и после 60-минутной экспозиции КВЧ на левую (2) и на правую (1) руки: * — достоверные различия ($p = 0{,}01$).

Анализ межполушарных отношений выявляет некоторое увеличение $КОГ_{ср}$ в лобных областях, главным образом, в медленноволновом диапазоне, а также незначительное повышение сочетаемости электрических процессов в теменных зонах по всему частотному диапазону.

Расчет коэффициентов межполушарной асимметрии показывает, что в результате действия этого поля у всех испытуемых происходит уменьшение коэффициента $K_{МПА}$ в среднем на 34%, т.е. уменьшение степени доминирования левого полушария, снижения тонуса коры.

Только у одного испытуемого из всей группы наблюдались выраженные и достоверные изменения спектра мощности и показателей $КОГ_{ср}$ свидетельствующие о повышении тонуса коры. В целом по группе можно сказать, что ЭМП с частотой 37,7 ГГц не вызывает значимых изменений пространственно-временной организации биопотенциалов мозга человека при периферическом воздействии.

При действии КВЧ излучения с частотой 42,25 ГГц было проведено 2 серии экспериментов — с экспозицией 60 и 30 минут. Именно такие экспозиции используются в настоящее время в КВЧ терапии.

При экспозиции 30 минут возникающие перестройки биоэлектрической активности неокортекса были аналогичными полученным при 60-минутном действии поля.

Подобный паттерн электрических процессов в коре характерен для состояния повышенного мозгового тонуса, т.е. возникает при развитии неспецифической реакции активации [27].

Кроме того, длительная экспозиция КВЧ поля (42,25 ГГц) показывает своего рода стабилизирующее воздействие на колебания биоэлектрических потенциалов коры головного мозга, которые имеют место от опыта к опыту в фоне, наиболее выраженное по показателям мощности альфа-ритма и показателя $КОГ_{ср}$ в дельта-, тета- и альфа-диапазонах как по межцентральным, так и по внутриполушарным отношениями (рис.8).

Использование метода хаотической динамики для оценки текущих изменений функционального состояния мозга позволило выявить фазность возникающих перестроек биопотенциалов (на 7–8 и 15–17 минутах воздействия ЭМИ), а также подтвердить, что в результате КВЧ облучения происходит повышение тонуса коры — увеличивается по сравнению с плацебо размерность странного аттрактора (рис.9), что отражает активационные процессы в коре [34].

Проведенные исследования показывают, что ЭМП различных диапазонов — от инфранизкочастотного до КВЧ — вызывают перестройку пространственно-временной организации церебральной деятельности, при этом возникающие изменения зависит от такого биотропного параметра как частота поля.

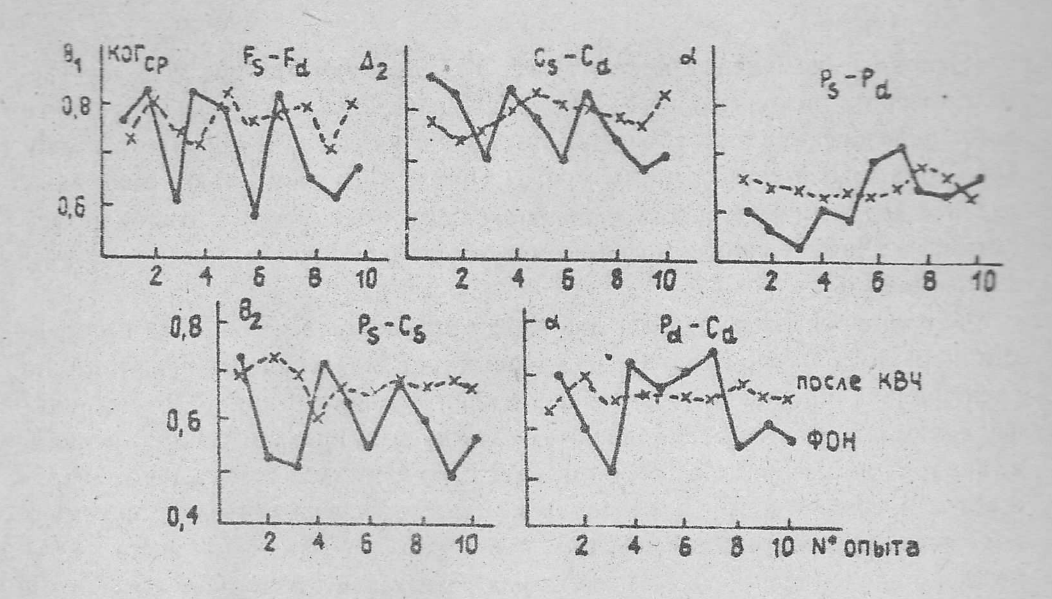


Рис. 8: Стабилизирующй эффект КВЧ воздействия по показателю КОГ по межполушарным ($F_s - F_d$, $C_s - C_d$, $P_s - P_d$) и внутриполушарным ($P_s - C_s$, $P_d - C_d$) отношениям в дельта- тета- и альфа-ритмах.

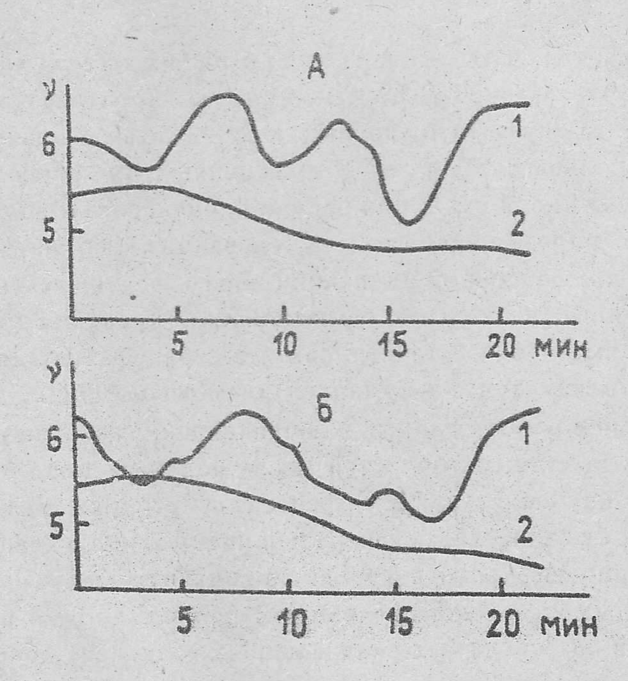


Рис. 9: Динамика корреляционной размерности странного аттрактора (ν) в течение 30-минутной экспозиции ЭМИ КВЧ (1) и плацебо (2) в затылочных областях левого (А) и правого (Б) полушарий коры головного мозга.

Основные изменения показателей ЭЭГ практически для всех изучаемых полей происходят в передних, лобно–центральных отделах коры. Эти зоны в филогенетическом отношении являются самыми молодыми и наиболее ранимыми структурами мозга. Кроме того, они имеют обширные связи с другими корковыми и подкорковыми областями, что определяет активное участие любых долей во многих функциональных системах реагирования [38].

Как известно существуют два пути проведения возбуждения при действии любого раздражителя: специфический и неспецифический. Если специфический связан с передачей специальной информации, то неспецифический выходит на все слои коры и служит для передачи тонизирующих, активирующих влияний. Различие этих двух систем возбуждения выражается в том, что при проведении импульса в специфической системе в коре возникает потенциал действия первичного ответа; проведение же ответа, по неспецифическим путем характеризуется вторичным ответом и затянутым действием, состоящим в эффекте изменения фоновой ритмики коры. При этом специфический ответ возникает в соматотопической проекции соответствующих точек рецепторной поверхности на периферии, неспецифическое влияние вызывает генерализованное воздействие в широких областях коры.

Представляется, что действие такого раздражителя как ЭМП, о чем свидетельствуют экспериментальные факты, протекает в основном по неспецифическим путям: во-первых, это — более выраженные ответы передне–центральных областей, а не теменных, где располагается топическая проекция кисти руки, при наличии перестроек и во всех остальных областях (т.е. определенная степень генерализации); во-вторых, затянутость ответа при сенсорной индикации — это десятки секунд), в-третьих, более выраженная (независимо от локализации) реакция правого полушария, которое имеет более тесные связи с диэнцефальными структурами (таламусом, ретикулярной формацией), чем левое [39,40].

Полученные в работе данные о возникающих генерализованных реакциях на ЭМП различных областей мозга подтверждают результаты, полученные при изучении других афферентных раздражителей [26]. В этих исследованиях была выявлена генерализация реакций на световые раздражения и проприоцептивные нагрузки при значительно меньшей выраженности локальных изменений, связанных с модальностью раздражающих стимулов. При афферентных раздражениях возникает перестройка межцентральных отношений ритмов ЭЭГ, проявляющаяся в изменении связей между различными областями коры, возникновении новых по характеру отношений электрических процессов. Под влиянием раздражений устанавливаются усиленные в одних отделах коры и сниженные в других импульсные и циклические связи, формируя систему пространственно–временных отношений, свойственных данному функциональному состоя-

нию.

Возникающие изменения пространственно-временной организации проявляются повышением (в той или иной степени) среднего уровня когерентности, более выраженным в диапазоне дельта-тета частот. В то время, как в опытах с плацебо происходило некоторое снижение уровней когерентности, либо повышение, но в диапазоне альфа-бета частот.

Традиционно в электрофизиологии принято считать появление медленных волн признаком патологии или тормозного состояния [41]. Однако эти состояния обычно связаны с падением среднего уровня когерентности, т.е. со снижением тонуса коры. Повышение мощности медленноволновой ритмики в спектре ЭЭГ с одновременным увеличением сочетаемости электрических процессов различных зон коры в этой полосе частот характеризует другое функциональное состояние мозга. Так Н.Е.Свидерская [30] полагает, что такое положительное взаимодействие между когерентностью и медленными волнами при определенных ситуациях может являться выражением значительного повышения напряженности мозговых процессов.

Принадлежность медленных ритмов в системах, обеспечивающих условия для реализации деятельности, уже показана рядом авторов. Возможно, полученные в данной работе результаты о медленноволновом отклике церебральной деятельности на ЭМП свидетельствуют о своеобразной ориентировочной реакции мозга — подготовке к некой предстоящей работе, которая может последовать за предупреждающим слабым ЭМП сигналом, для чего возникают перестройки биопотенциалов, усиливающие активационные процессы (повышение средних уровней когерентности в передних корковых областях).

Возникающую при периферическом действии ЭМП сложность изменений электрических процессов и их межцентральных отношений в коре можно объяснить с позиции представления об очагах стационарной активности, которые возникают в мозге при раздражении [29]. Динамические очаги стационарной активности в головном мозге здорового человека, включающие возбуждение корковых зон, подкорковых специфических и неспецифических структур, создают перестройку функциональных связей в головном мозге. В соответствии с представлениями А.А.Ухтомского (1954) можно говорить о том, что афферентное раздражение вовлекает в активность констелляцию центров, вызывая возбуждение одних и одновременно торможение других.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенность ЭМП как физического фактора внешней среды состоит в том, что изменение любого из его биотропных параметров (частоты, формы сигнала, интенсивности, локализации или экспозиции) изменяет

реакции живых организмов. Так, очень важным является такой биотропный параметр, как частота. Из всего спектра неионизирующий ЭМП на одних частотах эффекты воздействия более выражены по сравнению с другими, рядом расположенными. Такие узкие полосы особенно характерны для мм-диапазона [42, 43]. Как показали исследования, проведенные в Симферопольском университете [44, 45] аналогичная картина наблюдается на другом конце спектра — в диапазоне инфранизких частот.

Важен выбор интенсивности поля, т.к. для каждой частоты существует некоторое оптимальное значение, где биологический эффект выражен наиболее четко (так называемые "амплитудные окна" — [46]. И если до последнего времени исследователи считали, что биологическое действие ЭМП возможно только при высоких напряженностях (тепловое действие), то в последние годы получены убедительные данные, свидетельствующие о том, что низкоинтенсивные ЭМП, не вызывающие тепловых эффектов, могут вызывать существенные физиологические сдвиги в организме.

В настоящее время можно считать установленным экспериментальным фактом то, что биологические реакции на низкоинтенсивные неионизирующие ЭМП развиваются в рамках общего адаптационного синдрома и выражаются в повышении неспецифической резистентности организма.

Данные наших экспериментальных исследований с использованием метода сенсорной индикации и электроэнцефалографии позволяют говорить о том, что при периферическом действии низкоинтенсивных ЭМП у человека возникают как субсенсорные, так и сенсорные реакции.

Длительная экспозиция ЭМП ИНЧ и КВЧ диапазонов вызывает перестройки корковой ритмики здорового человека (как по межцентральным, так и внутриполушарным связям), которые свидетельствуют о развитии неспецифической реакции активации, т.е. повышении тонуса коры головного мозга. При этом наиболее реактивными во всем спектре ЭЭГ являются тета- и альфа-ритмы. Характер и выраженность субсенсорных реакций определялись биотропными параметрами воздействующего поля — частотой и локализацией. В исследованных диапазонах частот значимые изменения пространственно–временной организации биопотенциалов мозга возникали при частотах 42,25 ГГц и 53,57 ГГц. В ЭЭГ реакциях выявлено два вида асимметрии — сенсорная (при действии на правую руку характер изменения показателей ЭЭГ остается таким же, как и при действии на левую, но сама реакция выражена сильнее) и функциональная (при воздействии на одну и ту же руку реакции гемисфер различны, причем, при действии и на правую руку, и на левую — правое полушарие более реактивно).

Обнаружены качественные различия в ЭЭГ реакциях человека на поля ИНЧи КВЧ диапазонов. Так, при действии МП ИНЧ достоверные изменения сочетаемости электрических процессов мозга возникают в передне–центральных областях, а также в теменной области контрлатерального

полушария (повышение $КОГ_{ср}$ по дельта-тета-ритмам) с одновременным увеличением мощности дельта-ритма. При длительной экспозиции КВЧ излучения наблюдалось значительное увеличение мощности альфа-ритма в затылочных областях и увеличение среднего уровня когерентности биопотенциалов в центрально–фронтальных областях, более выраженное в правом полушарии (независимо от локализации). При этом ни у одного испытуемого не было зафиксировано ответа в теменной области.

Изучение сенсорных реакций человека позволяет говорить о существовании "частотных окон" электромагнитной чувствительности 8–10 Гц для ИНЧ диапазона и 42,25 ГГц и 53,57 ГГц для КВЧ диапазона. Кроме того, выявлено, что при восприятии ЭМП существенную роль играет форма ЭМ сигнала — импульсные и сложно–модулированные поля ощущаются человеком достоверно лучше, чем синусоидальные.

Модальность возникающих ощущений (покалывание, прикосновение, давление, "мурашки", жжение) свидетельствует об участии в рецепции ЭМП кожного анализатора — вероятнее всего механорецепторов и болевых рецепторов. Выявлено, что в сенсорных реакциях на ЭМП так же, как и субсенсорных, важное значение имеет сенсорная асимметрия человека — преимущественно достоверное различие поля осуществляется у испытуемых при воздействии на неведущую руку.

Найдены корреляции индивидуальной чувствительности человека к ЭМП с величиной его электрических и болевых порогов — чем выше эти пороги, тем ниже электромагнитная чувствительность. Существуют некие "критические" значения этих порогов, когда испытуемые проявляют полную нечувствительность к ЭМП всех диапазонов частот.

При восприятии ЭМП латентные периоды реакций составляют десятки секунд (в отличие от реакций на свет, звук, тактильные раздражения), что говорит о включении в рецепцию сложной нейрогуморальной системы реагирования. Однако, если время реакций на МП ИНЧ лежит в пределах 5–60 с, то для КВЧ диапазона — 40–60 с. Это говорит о том, что для мм-волн куммулятивный эффект должен быть более выражен, а также о некоторых различиях механизмов биологического действия ИНЧ и КВЧ полей (как и при ЭЭГ реакциях).

Следует отметить, что если сенсорные реакции возникают у испытуемых только в состоянии спокойного бодрствования и выражены даже у тех испытуемых, которые относятся к группе плохо распознающих поле.

Экспериментально обнаружены различия в реакциях ЦНС здорового человека на ЭМП ИНЧ и КВЧ диапазонов позволяют говорить о различных физиологических механизмах, обеспечивающих эти реакции: преимущественном участии специфической, лемнисковой системы — для ИНЧ полей, и неспецифической, экстралемнисковой — при действии мм-волн. Кроме того, эти различия определяются физическими свойствами ЭМИ: для МП ИНЧ человеческий организм "прозрачен", поле проникает глу-

боко, вовлекая в реакцию сосудистое русло, глубоко расположенные рецепторы, мышечные волокна, действуя непосредственно (а не только рефлекторно) на нервные волокна. КВЧ излучение практически полностью поглощается в эпидермисе, и в зону его действия попадают только неглубоко расположенные рецепторы, свободные нервные окончания, поэтому механизм действия мм-волн может быть, главным образом, рефлекторным.

Результаты наших исследований, свидетельствующие о том, что периферическое действие низкоинтенсивных неионизирующих ЭМП вызывает неспецифическую реакцию активации коры головного мозга здорового человека, характер и выраженность которой зависит от частоты поля, хорошо согласуется с выводами А.С.Пресмана [44], обобщившего многочисленные данные, полученные на животных и отдельных системах человека:

— изменения в организме, возникающие под действием ЭМП — неспецифичны;

— воздействие ЭМП на центральные отделы нервной системы чаще приводит к тормозным реакциям, а на периферические — к реакциям активации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Реброва Т.Б. Различия в подходе и устранении обратимых и необратимых функциональных нарушений организма с помощью когерентных излучений миллиметрового диапазона волн. – В кн.: Миллиметровые волны в медицине и биологии. – М.: ИРЭ.
2. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. – М.: Радио и связь, 1991. 160 с.
3. Бецкий О.В., Ильина С.А. Кожа и проблема взаимодействия миллиметровых волн с биологическими объектами. – В кн.: Миллиметровые волны в медицине и биологии. – М.: ИРЭ АН СССР, 1989. С.55-71.
4. Хижняк Е.П., Бецкий О.В., Воронков В.Н. и др. о роли пространственного распределения поглощения ЭМИ в формировании биоэффектов при КВЧ облучении. - Междунар.симп. "Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине". – М.: ИРЭ АН СССР, 1991. С.630-634.
5. Вельховер Е.С., Кушнер Г.В. Экстерорецепторы кожи. – Кишинев, Штиинца, 1991. 112 с.
6. Воронков В.Н., Хижняк Е.П. Морфологические изменения в коже при

действии КВЧ ЭМИ. – Междунар.симп."Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине". – М.: МРЭ АН СССР, 1991.
7. Черняков Г.В., Корочкин В.Л., Бабенко А.П., Бигдай-Е.В. Реакции биосистем различной сложности при воздействии КВЧ излучения низкой интенсивности. – В кн.: Миллиметровые волны в медицине и биологии. – М.: ИРЭ АН СССР, 1989. С.140-167.
8. Никонов А.А., Андреев Е.А., Евдокимов В.А., Храмов Р.Н., Фесенко Е.Е. Действие мм-излучения на сенсорный ответ механорецепторов бабочки Antheral pernyi. – Тез.докл.симп."Механизмы биологического действия электромагнитных излучений", Пущино, 1987. С.48.
9. Буручас Г., Масхолюнас Г. Торможение потенциала действия нерва при воздействии миллиметровыми волнами. – В кн.: Миллиметровые волны в медицине и биологии. – М.: ИРЭ АН СССР, 1989. С.168-175.
10. Хитрово-Орлова Т.В., Павленко В.Б., Ильичева Т.В., Волин С.А. Влияние КВЧ облучения на фоновую и вызванную активность нейронов коры головного мозга кошки. – Магнитобиология и магнитотерапия. Тез.докл.Всесоюзн.симп. – Сочи, Куйбышев, 1991. С.76.
11. Запорожан В.Н., Маккулькин Р.Ф., Шандра А.А. и др. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона и излучения лазера на очаги возбуждения в коре мозга. – Миллиметровые волны в медицине и биологии. – М., 1969.
12. Годлевский Л.С., Низов В.Н., Запорожан В.Н., Реброва Т.Б. Влияние электромагнитного поля низкой интенсивности на генераторы возбуждения в коре головного мозга. – Междунар.симп."Миллиметровые волны в медицине". – М., 1991. С.257-266.
13. Хромова С.В. Модификация миллиметровых излучений поведенческих реакций крыс. – Автореф.дисс.канд.биол.наук. – М.: Ин-т ВДН и НФ РАН, 1990. 157 с.
14. Царицинский В.И., Таранская А.Д., Деркач В.Н. Использование ЭМИ мм-диапазона в лечении депрессивных состояний. – Междунар.симп. "Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине". – М.: ИРЭ АН СССР, 1991. С.229-234.
15. Гапонюк П.Я., Коваленко Л.В., Сотников О.С. и др. Восстановительные процессы в нерве при его облучении ЭМП низкой интенсивности в медицине диапазона КВЧ. – Применение КВЧ излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. – М.: ИРЭ АН ССР, 1989. С.79.
16. Берус А.В., Столбиков А.Е., Шмаль О.В. и др. Особенности изменения параметров спектра ЭЭГ в ходе КВЧ терапии у больных гипертонической болезнью с разными типами гемодинамики. Межд. симп. "Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине. – М.:

ИРЭ АН СССР, 1991. С.114-119.
17. Дюрвиль Г. Лечение болезней магнитами. – Киев, 1913. 74 с.
18. Григорьев Н.И. Металлоскопия и металлотерапия. – СПб., 1981. 202 с.
19. Lavsund P., Olerg P.A., Nilsonn S.E.Y. magneto- and electrophosphenes a comparative stucly. – Med.Biol.Eng.Comput. 1980. V.18. N 6. P.758-764.
20. Лин Дж.Ч. Слуховой эффект на СВЧ. – ТИИЭР. 1980. Т.68. N 1. С.83-90.
21. Лебедева Н.Н. Реакции центральной нервной системы человека на электромагнитные поля с различными биотропными параметрами. – Автореф.дисс.д-ра биол.наук. – М.: Ин-т ВНД и НФ РАН, 1992. 48 с.
22. Бецкий О.В., Кислов В.В. Волны и клетки. – М.: Знание, 1990. 64 с.
23. Гилинскаыя Н.Ю., Карзанов В.Н., Звыгинцев Г.И. Изменение чувствительности к магнитному полю при некоторых заболеваниях нервной системы. – В кн.: Магнитные поля в теории и практике медицины. – Куйбышев, 1984. С.17-21.
24. Родштат И.В. Физиологические предпосылки к пониманию рецепции миллиметровых радиоволн с биологическими объектами // Препринт N 39 (411). – М.: ИРЭ АН СССР, 1984. 17 с.
25. Залюбовскаыя Н.П. Биологические реакции как основа гигиенической оценки электромагнитных волн мм-диапазона. Автореф.дисс.д-ра мед.наук. – Киев: Киевский медин-т, 1979. 48 с.
26. Бруннер Дж. Психология познания. – М.: Прогресс, 1977. 412 с.
27. Горская Г.Б. Психофизиология мышления // "Вопросы психологии". 1977. N 4. С.155-163.
28. Анохин П.К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. – М.: Наука, 1968. 657 с.
29. Русинов В.С., Гриндель О.М., Болдырева Г.Н., Вахар Е.М. Биопотенциалы мозга человека. – М.: Медицина, 1987. 254 с.
30. Свидерская Н.Е. Синхронная электрическая активность и психические процессы. – М.: Наука, 1987. 156 с.
31. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. – М.: Наука, 1975. 207 с.
32. Холодов Ю.А., Шишло А.М. Электромагнитные поля в нейрофизиологии. – М.: Наука, 1979. 168 с.
33. Klitzing L.von. Static agnetic fields increase the power intensity of EEY of man-Brain. Res. 1989. V.483. N 1. P.201-203.
34. Пригожин И.Р., Стингерс И. Порядок из хаоса. – М.: Мир, 1986.
35. Дмитриев А.С., Кислов В.Я. Стохастические колебания в радиофизике и электронике. – М.: Наука, 1989.
36. Ульбикас Ю.К., Давыдов В.И., Лебедева Н.Н. Применение методов

хаотической динамики для исследования влияния КВЧ излучения на биоэлектрическую активность мозга человека. – В кн.: Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине. – М.: ИРЭ АН СССР, 1991. Т.2. С.442-449.
37. Ефремова Т.М., Куликов М.А., Резвова И.Р. участие нелинейных динамических процессов в формировании высокочастотной ЭЭГ кролика // Журн. высшей нервной деят. 1991. Т.41. N 5. С.998-1006.
38. Хомская Е.Д. Мозг и активация. – М.: из-во МГУ, 1972. 384 с.
39. Брагина Н.Н., Доброхотова Т.А. Функциональные асимметрии человека. – М.: Медицина, 1988. 240 с.
40. Болдырева Г.Н., Жаворонкова Л.А. Характеристика межполушарных взаимоотношений в ЭЭГ в оценке функционального состояния мозга человека // Журн.высшей нервной деят. 1989. Т.39. Вып.2. С.215-220.
41. Жирмунская Е.А. Биоэлектрическая активность здорового и больного мозга человека. Клиническая нейрофизиология. – Л.: Наука, 1972. С.224-265.
42. Севастьянова Л.А. Особенности биологического действия радиоволн мм-диапазона и возможность их использования в медицине // Вестник академии мед.наук СССР. 1979. N 2. С.65-68.
43. Севастьянова Л.А. Специфическое действие радиоволн миллиметрового диапазона. – В кн.: Нетепловые эффекты миллиметрового излучения. – М.: ИРЭ АН СССР, 1981. С.86-113.
44. Сидякин В.Г. Влияние глобальных экологических факторов на нервную систему. – Киев: Наукова думка, 1986. 160 с.
45. Темурьянц Н.А. О биологической эффективности слабого электромагнитного поля инфранизкой частоты. – В кн.: Проблемы космической биологии. – М.: Наука, 1983. Т.43. С.129-139.
46. Эйди У.Р. Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям // Журн. Физиология человека. 1975. Т.1. N 1. С.59.
47. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. – М.: Наука, 1968. 288 с.

Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН

Поступила в редакцию 31 мая 1993 г.

THE REACTION OF THE HUMAN CENTRAL NERVOUS SYSTEM TO THE PERIFIRAL IMPACT OF LOW INTENSITY MM WAVES

N.N.Lebedeva

УДК 614.89:537.868.029.65

О МЕХАНИЗМАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ С БИОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

О.В.Бецкий

Рассматриваются особенности взаимодействия электромагнитных волн низкой интенсивности в миллиметровом диапазоне длин волн с биологическими объектами. Эти волны широко используются в медицинской практике в качестве физиотерапевтического средства для лечения различных заболеваний человека. Основное внимание уделяется обсуждению гипотезы о механизмах воздействия миллиметровых волн на организм человека.

1. ВВЕДЕНИЕ

Возможности применения электромагнитных волн в нетрадиционных областях, например, медицине, биологии, биотехнологии — привлекают внимание специалистов в различных областях знаний. Так, в медицине успешно используются терапевтические и хирургические приборы, работающие в различных частотных диапазонах.

Миллиметровые волны ($\lambda = 1 \div 10$ мм), соответствующие КВЧ диапазону ($f = 300 \div 30$ ГГц), были освоены сравнительно недавно. Успехи в освоении КВЧ диапазона обусловлены в значительной степени разработкой и промышленным выпуском ламп обратной волны типа 0 (ЛОВ-0) — широкополосных генераторов когерентных колебаний с электрической перестройкой частоты (середина 60-х годов). Ученые, разработавшие серию оригинальных ЛОВ-0, перекрывающих весь миллиметровый диапазон, первыми сформулировали идею о важности КВЧ колебаний в функционировании живой клетки и биологических объектов различной степени организации. Сейчас можно говорить о становлении нового научного направления — миллиметровой электромагнитобиологии, связанного с именами Н.Д.Девяткова, М.Б.Голанта и других ученых (НПО "Исток", г.Фрязино) [1-11]. Наибольшие успехи в этом направлении связаны в применением низкоинтенсивных миллиметровых волн (≤ 10 мВт/см^2) в медицине (физиотерапии) для лечения различных заболеваний. С 1991 г. серийно выпускаются миллиметровые терапевтические аппараты "Явь-1" (разработанные в НПО "Исток") и "Электроника-КВЧ" (НПО "Сатурн", Киев).

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ

Миллиметровые волны сильно поглощаются в воде и водных растворах. Например, слой воды толщиной в 1 мм ослабляет КВЧ излучение в 10^2 раз на длине волны $\lambda \sim 8$ мм и в 10^4 раз — при $\lambda \sim 2$ мм. Это обстоятельство играет важную роль при облучении кожи человека миллиметровыми волнами. Кожа примерно на 65% состоит из воды (связанная и свободная вода), следовательно, КВЧ излучение почти полностью поглощается в верхних слоях кожи (эпидермис) на глубине $0,3 \div 0,5$ мм. Тем не менее в пределах досягаемости миллиметровых волн оказываются следующие структуры кожи: кожные рецепторы, свободные нервные окончания, микрокапиллярные кровеносные сосуды, депо Т–лимфоцитов (иммунокомпетентные клетки). Миллиметровые волны относятся к классу неионизирующих излучений, то есть они не могут вмешиваться в интимную жизнь атомно–молекулярных систем, не могут приводить к необратимым эффектам в этих системах в отличие от ионизирующих излучений (от ультрафиолетовых до γ–волн). Энергия кванта излучения $h\nu$ в КВЧ диапазоне меньше средней энергии теплового движения кТ. Для $\lambda \sim 1$ мм $h\nu = 1,17 \cdot 10^{-3}$ эВ, тогда как при комнатной температуре кТ $= 2,53 \cdot 10^{-2}$ эВ.

Биологические эффекты зависят от энергии (мощности) электромагнитных волн. В зависимости от этого параметра различают слабые (нетепловые, низкоэнергетические, низкоинтенсивные) и сильные (тепловые) воздействия. Условной границей раздела является величина 10 мВт на квадратный сантиметр облучаемой поверхности. При такой мощности излучения, например, среднее повышение температуры кожи человека не превышает 0,1°С, что на уровне целого организма является физиологически незначимой величиной. Считается почти общепринятым утверждение о том, что наиболее интересные биологические эффекты наблюдаются при слабых воздействиях. В полной мере это относится к миллиметровым волнам, где низкоинтенсивные эффекты проявляются наиболее отчетливо. Сильные, тепловые воздействия иногда называют энергетическими (например, в случае диаметрии и, особенно, гипертермии), слабые воздействия при наличии явно выраженного биологического эффекта — информационными. Биологические эффекты в КВЧ диапазоне связывают с информационным характером действия излучения на живые организмы.

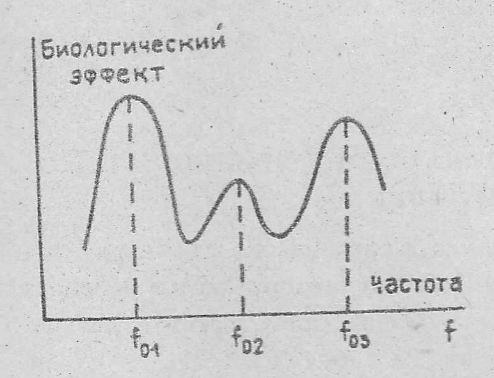
Какая существует формальная связь между жизнедеятельностью организма и КВЧ излучениями? Помимо излучения организмом некогерентных, тепловых электромагнитных волн в КВЧ диапазоне, имеются еще две идеи по поводу КВЧ колебаний в живой клетке. Первая идея обсуждается в работе Г.Фрёлиха, выполненной в середине 60-х годов [10]. Суть гипотезы Фрёлиха заключается в том, что биологические системы (био-

логические мембраны) могут иметь поляризационные (дипольные) колебания в диапазоне частот от 100 до 1000 ГГц ($\lambda \sim 3 \div 0,3$ мм). Процессы жизнедеятельности в клетках сообщают энергию локально возбужденным дипольным колебанием (биологическая накачка). За счет нелинейных эффектов взаимодействия дипольных колебаний и нелинейной связи этих колебаний с упругими колебаниями система может перейти в метастабильное состояние, в котором энергия трансформируется в энергию одного вида колебаний. Под действием излучения система может перейти в основное состояние — возникает "гигантский диполь", который является частным случаем когерентного состояния биологического объекта. Подобные колебаний могут охватывать участки биологических мембран или части биомакромолекул. Эта идея имеет много общего с гипотезой Д.С.Чернавского, Ю.И.Хургина и С.Э.Шноля ("белок–машина"), в соответствии с которой запасание энергии в КВЧ диапазоне может происходить в форме напряженного механического метастабильного состояния биомакромолекул, что является частным случаем когерентного состояния [2].

Вторая идея (М.Б.Голант) связана с обсуждением возможности возбуждения акусто–электрических волн в биологических мембранах в КВЧ диапазоне [3]. Формальные электродинамические оценки показывают, что в белково–липидной мембране могут возбуждаться акусто–электрические колебания с разделением видов колебаний, равным 150–200 МГц. Однако из-за большого затухания такие колебания могут поддерживаться, если часть энергии метаболических процессов в клетке идет на компенсацию энергии потерь.

Биологические эффекты при воздействии миллиметровых волн изучались при использовании различных живых организмов — от микроорганизмов и лабораторных животных до организма человека. В первых экспериментах были обнаружены некоторые интересные закономерности воздействия миллиметровых волн на живые организмы. Так, например, в опытах с микроорганизмами (кишечная палочка) было показано, что излучение может влиять на синтез различных веществ (в данном случае — колицина) [2]. Было обнаружено также, что биологический эффект может зависеть от частоты. Примерный вид такой зависимости с тремя "резонансными" частотами показан на рис.1. Самое интересное здесь состоит в том, что соответствующая этим максимумам эквивалентная добротность ($Q_0 \sim f_0/f_{0,5}$) может составлять сотни единиц. Следует отметить, что до сих пор нет общепринятого объяснения этих "резонансов". Вторая интересная особенность состоит в том, что один и тот же биологический эффект проявляется при изменении падающей мощности в широких пределах, оставаясь в "коридоре" низких интенсивностей. Качественный вид такой зависимости показан на рис.2. Биологический эффект имеет пороговый характер ($P_{\text{пор}}$), а отношение P_2/P_1 может составлять

десятки/сотни единиц. В последующих экспериментах с лабораторными животными (мышами) была поставлена задача изучить влияние миллиметровых волн на злокачественные образования [2]. В многолетних экспериментах была продемонстрирована частотная зависимость биологического эффекта, подобной кривой на рис.1. Главный результат этих исследований состоял в том, что была продемонстрирована протекторная роль миллиметровых волн при лечении онкологических заболеваний стандартными методами — с использованием лекарств или γ–излучением. При использовании этих методов всегда возникают нежелательные побочные эффекты — изменение формулы крови, ухудшение самочувствия больного и др. При использовании определенной методики лечения и при использовании миллиметровых волн этих нежелательных эффектов можно избежать.



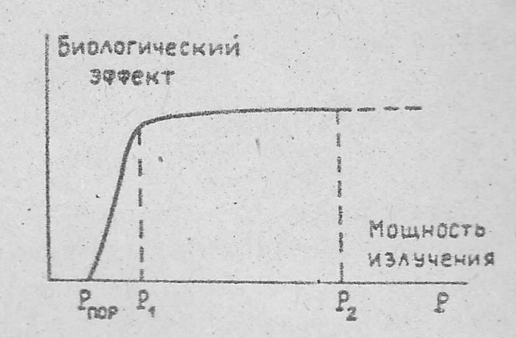


Рис.1, 2:

Можно отметить еще несколько специфичных для КВЧ диапазона эффектов при облучении миллиметровыми волнами модельных или живых объектов. При воздействии этих волн на воду или водные среды вследствие сильного поглощения волн в тонких приповерхностных слоях возникает сложное конвективное движение жидкости. При большом поглощении миллиметровых волн возникают большие температурные градиенты при незначительном среднем (интегральном) повышении температуры облучаемой поверхности. Это локальное изменение температуры и является причиной конвективного перемешивания жидкости. Если вблизи приповерхностного слоя находится какой-либо биологический объект, например, естественные биологические мембраны, то воздействие миллиметровых волн на последние может быть существенным вследствие изменения характера диффузионных процессов. Например, экспериментально было обнаружено влияние миллиметровых волн на транспорт электрических зарядов, газов и различных веществ, на перекисное окисление липидов в биологических мембранах из-за перемешивания обычно "неперемешиваемой" жидкости в непосредственной близости мембран [13]. Локальным перераспределением температуры под действием низкоинтенсивных

миллиметровых волн можно объяснить, по-видимому, изменение скорости протекания жидкости через стеклянные микрокапилляры, помещенные в волноведущие системы [14]. Такой эффект, перенесенный на кровеносные капилляры, может иметь большое значение в биологии и медицине.

Очень важными представляются эксперименты по изучению особенностей распределения КВЧ электрического поля и микротемпературы на облучаемой поверхности кожи [15]. Оказалось, что при незначительном интегральном повышении температуры кожи ($\sim 0,1°C$) на коже имеются "горячие" пятна и "точки" (с характерным размером до сотни микрон). Положение этих "горячих" областей зависит от стабильности частоты генератора КВЧ, ориентации поверхности облучаемой области кожи относительно волноводной антенны и других факторов. Если, например, в генераторе предусмотрено свиппирование частоты, то "горячие" области перемещаются по облучаемой поверхности кожи в соответствии с частотой модуляции.

3. О МЕХАНИЗМЕ ДЕЙСТВИЯ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Отклик сложного, высокоорганизованного организма на внешнее КВЧ излучение всегда является системным. В случае организма человека можно рассмотреть следующую схему, отдельные элементы которой достаточно подробно рассмотрены в различных работах [17–21].

Кожа

При лечении различных заболеваний с помощью миллиметровых волн обычно облучают биологически активные зоны (зоны Захарьина–Гедда), биологические активные точки (точки акупунктуры), а также области крупных суставов или границы открытых ран. В первых двух случаях особенности кожи (эпидермиса) проявляются в увеличенной концентрации кожных рецепторов, (в том числе свободных нервных окончаний), тучных клеток; в третьем случае — повышенная концентрация коллагеновых белков молекул, обладающих электретным и пьезоэлектрческим свойствами; в четвертом — большое количество жидкой фракции (гнойные раны). Во всех случаях имеется довольно большое количество воды (до 65%), возможность взаимодействия КВЧ излучения с микрокапиллярными сосудами и, частично, с депо иммунно–компетентных клеток — Т–лимфоцитов.

Первичная рецепция миллиметровых волн происходит, по-видимому, на уровне молекул воды, находящихся вблизи белковых рецепторов внешней мембраны клетки. Молекулы воды являются самым сильным поглотителем миллиметровых волн. Основную долю в поглощение вносят свободные молекулы воды в отличие от связанных молекул воды, определяющих

гидратацию белков. Энергия волны переходит в кинетическую энергию свободных молекул воды, что приводит к большей вероятности взаимодействия этих молекул с молекулами на поверхности белковых молекул рецепторов. Плазматическая мембрана играет в жизни клетки такую же важную роль, как кожа в жизни человека. От состояния мембраны, ее белковых рецепторов зависят транспорт ионов и различных веществ, все процессы метаболизма. Заболевание организма проявляется на клеточном уровне в изменении гидратации белковых рецепторов (в уменьшении числа гидратации). Особенность работы белковых молекул состоит в том, что в зависимости от числа гидратации белковые молекулы могут находиться в физиологически пассивном или активном состояниях, причем переход из одного состояния в другое происходит скачком (по триггерному механизму). При облучении клеток кожи (больного человека) в результате возросшей вероятности соударения свободных молекул с белковыми молекулами может увеличиться число гидратации: свободные молекулы воды под действием КВЧ-излучения становятся связанными молекулами, занимая вакантные места на поверхности белковых молекул и, как следствие, белковые молекулы из функционально пассивного состояния переходят в функционально активное состояние (процессы жизнедеятельности клетки нормализуются). Этому переходу соответствует критическая гидратация белка (см.рис.3).

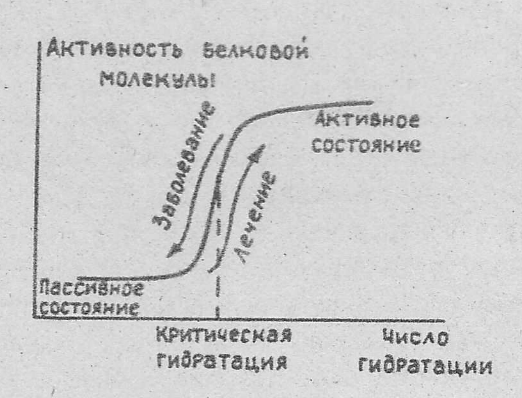


Рис.3:

В соответствии с гипотезой, изложенной в [3], процесс нормализации работы клетки связан с возбуждением акусто-электрических волн в плазматической мембране, с которым и связана цепочка последовательных событий — от изменения геометрических размеров клеток до механизма обмена информацией между клетками через "антенные" структуры и передаче возбуждения по нервным волокнам и гуморальной системе.

Таким образом, определяющим звеном в первичной рецепции миллиметровых волн является молекула воды и мембранные рецепторы клетки.

Как лечебный механизм миллиметровых волн реализуется на уровне клетки? Есть несколько экспериментов, которые можно привлечь для косвенного подтверждения изменения метаболизма в клетке под действием миллиметровых волн. В [21] приводятся результаты влияния КВЧ излучения на сине–зеленые водоросли (цианобактерии), которые представляют большой интерес для биотехнологической промышленности. Речь идет, в частности, о такой культуре как спирулина *(Spirulina)*, которая может найти большое применение в качестве пищевой добавки, удобрения, в фармацевтической и текстильной промышленности и др. Перед исследователями была поставлена задача увеличения роста биомассы микроводорослей при использовании КВЧ и СВЧ излучений. В результате многолетних исследований была найдена методика резкого увеличения биомассы при облучении электромагнитными волнами (до 250% и более, тогда как при использовании общепринятых химических стимуляторов удается достичь роста биомассы на несколько десятков процентов). Но самое удивительное и главное в этих экспериментах заключалось в том, что под действием электромагнитного излучения микроводоросли выделяют в среду обитания большое количество биологически полезных веществ, в том числе имеющих и лечебное значение (витамины, аминокислоты, белки и т.д.).

Второй эксперимент [22] был посвящен изучению влияния миллиметровых волн на электрические процессы в клетке зеленого листа бальзамина *(Balzamin)*. Выяснилось, что динамика электрического потенциала между цитоплазмой и внешней (по отношению к клетке) средой аналогична процессам, которые проявляются при действии на клетку фотосинтетически активного излучения. Было высказано предположение о том, что миллиметровые волны стимулируют синтез АТФ в клетке (универсального источника энергии клетки). Таким образом, эти два эксперимента мы можем с осторожностью привлечь для косвенного подтверждения идеи о том, что под действием миллиметровых волн живая клетка может изменять биохимически процессы жизнедеятельности и выработки необходимых для организма веществ для "самолечения". С понятной осторожностью для нашего рассмотрения можно привлечь также результаты работы, изложенной в [23]. Эта работа была поставлена в связи с тем, что в клиниках иногда отмечалось иммунностимулирующее действие КВЧ терапии у больных с вторичными иммунодефицитами разного генеза. В работе изучалось влияние миллиметрового излучения на лимфоциты крови и фибробласты кожи человека *in vitro*. В результате тщательных экспериментов было показано, что под влиянием мм-волн в цитоплазме клеток стимулируется синтез веществ (фитокинов), связанных с активацией дегидрогеназ (ферментов, принимающих участие в гликолизе). В облученных клетках концентрация лактатдегидрогеназы повышается в 3–5 раз. Фитокин в больших концентрациях содержится в клет-

ках, а также может выделяться в культуральную жидкость, что приводит к усилению пролиферативной активности клеток.

Как уже указывалось выше, в поле непосредственного влияния электромагнитных миллиметровых волн в эпидермисе могут оказаться и кровеносные микрокапилляры. С нарушениями кровотока в таких капиллярах связан ряд заболеваний человека. Имеется несколько экспериментальных факторов, которые могут служить косвенным подтверждением того, что мм-волны могут изменить характер протекания жидкости (крови) через капиллярные сосуды. В одном из экспериментов тонкий капилляр из стекла помещался в неизлучающие малые отверстия в широких стенках прямоугольного волновода [14]. Снизу под давлением через капилляр пропускалась вода, которая в виде "фонтана" вытекала через верхний открытый конец капилляра. В эксперименте было показано, что скорость протекания жидкости через капилляр пропорциональна мощности волны в волноводе, о чем можно было судить по высоте фонтанирующей струи воды. Изменение сил сцепления между внутренней поверхностью капилляра и самой жидкостью можно объяснить, по-видимому, нагревом под действием мм-волн тонкого слоя жидкости, прилегающей к внутренней поверхности капилляра. Это возможно при выполнении некоторых "резонансных" условий повышенного поглощения мощности волны в капилляре. Этот вопрос достаточно подробно исследован в экспериментальном отношении в работе [26]. Было показано, что в тонкостенной фторопластовой трубке с измеряемой жидкостью, помещенной в волноводную кювету, создается резонансное ослабление КВЧ сигнала с амплитудой 50–60 дБ и добротностью $Q_0 \sim 1000$. Параметры резонанса (частота, амплитуда, добротность) зависят от материала капилляра, состава жидкости (диэлектрической проницаемости и величины "нерезонансного" поглощения в миллиметровом диапазоне) и чрезвычайно чувствительны к их малым изменениям. Так, например, если изменение свойств жидкости может привести к изменению диэлектрической проницаемости $\Delta\epsilon \sim 10^{-2}$, то выходной сигнал на резонансной частоте изменяется почти на порядок.

Таким образом, на уровне клеток кожи воздействие миллиметровых волн может привести к изменению процессов метаболизма клеток и выбросу в межклеточную среду различных биологически важных веществ. В сложном организме на этом не заканчивается воздействие миллиметровых волн. Можно рассмотреть влияние следующих систем на суммарный ответ организма на внешнее КВЧ воздействие.

Гуморальная система и нервные волокна

Собственно роль гуморальной системы (межклеточная жидкость и кровь) связана с примерами, рассмотренными выше. Если под действием

мм-волн клетки могут выбрасывать различные вещества, в том числе лечебного свойства, то они могут разноситься по всему организму и выполнять свои лекарственные функции. Роль лекарственных препаратов при медикаментозном лечении, вводимых внутримышечно или внутривенно, сводится к этому же. В ряде экспериментов показано также, что различные клетки крови также оказываются чувствительными к мм-волнам. В опытах с животными по пересадке костного мозга летально-облученными *gamma* и рентгеновскими волнами [24–25] показано, что миллиметровые волны оказывают положительное влияние на стволовые кроветворные клетки костного мозга, что способствует повышению выживаемости летально облученных животных (мыши) после трансплантации мозга. На основании результатов этих опытов можно говорить о "памяти" клеток, облученных мм-волнами.

Что касается нервных волокон и передачи по ним информации об облучении кожи миллиметровыми волнами, то лучшей иллюстрацией положительного ответа на этот вопрос могут служить результаты, представленные в работе [18]. Показано, что около 80% здоровых испытуемых (молодые люди) достоверно различают низкоинтенсивные миллиметровые волны. Модальность сенсорных ощущений свидетельствует об участии в рецепции мм-волн кожного анализатора. В работе высказано предположение, что рецепцию мм-волн осуществляют болевые рецепторы (ноцицепторы) — свободные нервные окончания с тонкими миелинизированными или немиелинизированными нервными волокнами. Тот факт, что ЦНС человека реагирует на слабые мм-волны, свидетельствует о важной роли нервных волокон, начинающих свой "путь" в коже. Для того, чтобы понять, как в дальнейшем идет обработка информации, необходимо рассмотреть следующие разделы, формирующие ответ человека на слабые электромагнитные воздействия.

Спинной и головной мозг

На уровне клеток и микрокапилляров кожи происходит не только первичная рецепция электромагнитного излучения, но начальный терапевтический отклик кожи (синтез лечебных веществ, выделяемых в межклеточную среду). Системный отклик организма происходит с участием центральной нервной системы. Всякой терапии должна предшествовать диагностика заболевания. В соответствии с работой [20] диагностика происходит на уровне спинного мозга — пластины Рекседа, выполняющие роль нейрокомпьютера. На пластины поступают также "опорные" сигналы от кожи (через нервные волокна) и от больных органов. Интегральный сигнал, полученный в результате обработки и распознавания внешних сигналов от действия КВЧ излучения и внутренних диагностических систем поступает в головной мозг. Головной мозг внутри организма выполняет

роль регулятора защитных систем организма, поддерживающих его гомеостаз. Через защитные системы (иммунная, гормональная и нейрогуморальная, системы синтеза ферментов и их медиаторов) и выполняется конечный этап терапии. Изменения в электрической активности в головном мозге под действием КВЧ излучения подробно исследованы в [18].

Такова вкратце общая схема механизма лечебного действия на организме человека миллиметровых волн низкой интенсивности.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный здесь материал является, безусловно, неполным для построения гипотезы о механизме действия КВЧ излучения на организм человека. Тем не менее оказалось возможным представить некоторую скелетную схему механизма действия.

Несмотря на неполноту наших знаний о воздействии миллиметровых волн на организм человека, КВЧ терапия завоевала свое место среди различных физиотерапевтических методов лечения различных заболеваний. Только в Росссийской Федерации насчитывается более тысячи учреждений, в которых используется перспективный метод КВЧ терапии (миллиметровой терапии), а число больных, леченных с использованием этого метода, составляет несколько сотен тысяч. Новый метод лечения обладает рядом положительных качеств, определяющих его перспективность в современной физиотерапии: неинвазивность, полилечебный характер, отсутствие (по наблюдениям с 1977 года) побочных эффектов и отдаленных последствий, сочетаемость с лекарственными методами лечения и другими физиотерапевтическими методами с использованием магнитных полей, лазерного излучения, хорошее самочувствие больных в процессе лечебных сеансов и т.д. КВЧ терапия повышает резервные возможности организма, его иммунный статус, что делает его особенно привлекательным в плане борьбы с неблагоприятным действием различных внешних факторов (токсических веществ, ионизирующих излучений, источников стрессов и т.д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Адаменко В.Г., Виленская Р.Л., Голант М.Б. и др. // Электронная техника. Сер.Электроника СВЧ. 1966. Вып.12. С.132.
2. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Смолянская А.С. и др. // Научная сессия отделения общей физики и астрономии АН СССР (17–18 января 1973). Успехи физических наук. 1973. Т.110. Вып.3. С.456.
3. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. – М.: Радио и связь, 1991.

169 с.
4. Международный симпозиус "Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине", 3–6 октября 1991 (в трех томах). – М.: ИРЭ АН СССР.
5. Миллиметровые волны в медицине. / Сб.статей в дву томах под ред. Н.Д.Девяткова и проф.О.В.Бецкого. – М.: ИРЭ АН СССР, 1991.
6. Тезисы докладов I Всесоюзного симпозиума с международным участием, 10–13 мая 1989 г. "Фундаментальные и прикладные аспекты применения миллиметрового электромагнитного излучения в медицине. – Киев, 1989.
7. Fröhlich H., Kremer F. (Eds.) // Coherent excitations in biological systems. Springer–Verlag. 1983.
8. Fröhlich H. (Eds.) // Biological Coherence and Response to External Stimuli. Springer–Verlag. 1988.
9. Grundler W., Keilmann F. // Z.Naturforsch. 1978. V.15. P.33.
10. Fröhlich H. // Int.Journal of Quantum Chemistry. 1968. V.11. P.641.
11. Гассанов Л.Г., Писанко О.И., Пясецкий В.И. и др. // Электронная промышленность. 1991. N 5. С.59.
12. Чернавский Д.С., Хургин Ю.И., Шноль С.Э. // Препринт N 185. – Москва: Физический институт им.П.Н.Лебедева АН СССР, 1986.
13. Бецкий О.В., Путвинский А.В. // Изв.ВУЗов МВ и ССО СССР. Радиоэлектроника. 1986. Т.29, N 10. С.4.
14. Полников И.Г., Казаринов К.Д., Шаров В.С. и др. – В сб.: Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине / Под ред.акад.Н.Д.Девяткова. – М.: ИРЭ АН СССР, 1985. С.180.
15. Бецкий О.В., Петров И.Ю., Тяжелов В.В. и др. // Докл.АН СССР. 1989. Т.309. N 1. С.230.
16. Сериков А.А., Христофоров Л.Н. // Препринт ИТФ–88–39Р. – Киев: Институт теоретической физики АН УССР, 1988. 23 с.
17. Хургин Ю.И., Бецкий О.В., Череветинова Н.Г. и др. – В сб.: Медико–биологические аспекты миллиметрового излучения / Под ред.акад.Н.Д. Девяткова. – М.: ИРЭ АН СССР, 1987. С.193.
18. Лебедева Н.Н. // Информационный сборник "Избранные вопросы КВЧ терапии в клинической практике". – М.: МО СССР, 1991. Вып.61.
N 4. С.37.
19. Родштат И.В. – В сб.: Медико–биологические аспекты миллиметрового излучения / Под ред.акад.Н.Д.Девяткова. – М.: ИРЭ АН СССР, 1987. С.14.
20. Чернавский Д.С. – В сб.: Медико–биологические аспекты миллиметрового излучения / Под ред.акад.Н.Д.Девяткова. – М.: ИРЭ АН СССР, 1987. С.46.
21. Тамбиев А.Х., Кирикова Н.Н., Лапшин О.М. и др. – В сб.: Миллиме-

тровые волны в медицине и биологии / Под ред.акад.Н.Д.Девяткова. – М.: ИРЭ АН СССР, 1989. С.183.
22. Петров И.Ю., Бецкий О.В. // Докл.АН СССР. 1989. Т.305. N 2. С.474.
23. Говалло В.И., Барер Ф.С., Волчек И.А. и др. – В сб.докладов Международного симпозиума "Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине", 3–6 октября 1991. – М.: ИРЭ АН СССР, 1991. Часть 2. С7340.
24. Зубенкова Э.С. – В сб.докладов Международного симпозиума "Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине", 3–6 октября 1991. – М.: ИРЭ АН СССР, 1991. Часть 2. С.345.
25. Соболева Е.И., Игнашева Л.П. – В сб.докладов Международного симпозиума "Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине", 3–6 октября 1991. – М.: ИРЭ АН СССР, 1991. Часть 2. С.352.
26. Беляков Е.В., Кудряшова В.А., Кичаев В.А. и др. – В сб.: Миллиметровые волны в медицине / Под ред.акад.Н.Д.Девяткова и проф.О.В. Бецкого. – М.: ИРЭ АН СССР, 1991. Т.2. С.541.

Институт радиотехники
и электроники РАН

Поступила в редакцию
31 мая 1993 г.

ON THE MECHANISMS OF INTERACTION OF LOW INTENSITY MILLIMETER WAVES WITH BIOLOGICAL OBJECTS

O.B.Betskii

Features of interaction of low intensity millimeter waves with biological oblect are considered. These waves are widely used in medical practice as a physiotherapy remedy for treatment of different human diseases. Main attention is given to discussion of a hypothesis about mechanisms of millimeter wave effects upon human organism.

1994 Изв. ВУЗов РАДИОФИЗИКА Том XXXVII N 1

УДК 614.89:537.868.029.65

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ С БИОМОЛЕКУЛЯРНЫМИ СИСТЕМАМИ

Ю.И.Хургин, В.А.Кудряшова, В.А.Завизион

Обобщены полученные данные о поглощении электромагнитной энергии КВЧ диапазона водными растворами. Сформулированы экспериментальные признаки проявления эффектов положительной (гидрофильной и гидрофобной) и отрицательной (гидрофильной) гидратации. Показана применимость предложенного подхода для изучения гидратации высокомолекулярных систем, в том числе водных растворов белков. Предложена схема, объясняющая особенности взаимодействия КВЧ излучения с реальными биологическими системами, в том числе в условиях КВЧ терапии.

На основе полученных экспериментальных данных о поглощении КВЧ излучения водными растворами органических и неорганических электролитов и неэлектролитов, а также глобулярных белков, предложена схема, объясняющая некоторые детали КВЧ терапии. В качестве первичной молекулярной мишени для КВЧ излучения предложено рассматривать фракцию подвижных молекул воды в кожном покрове, которые способны переносить энергию КВЧ излучения на первичные физиологические мишени белковой природы.

На основе полученных экспериментальных данных о поглощении КВЧ излучения водными растворами органических и неорганических электролитов и неэлектролитов, а также глобулярных белков предложена схема, объясняющая некоторые детали КВЧ терапии. В качестве первичной молекулярной мишени для КВЧ излучения предложено рассматривать фракцию подвижных молекул воды в кожном покрове, которые способны переносить энергию КВЧ излучения на первичные физиологические мишени белковой природы.

1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ С БИОЛОГИЧЕСКИМИ СТРУКТУРАМИ. ПРОБЛЕМА ПЕРВИЧНОЙ МИШЕНИ

Широкое распространение в медицинской практике получила КВЧ терапия. Она используется для устранения ряда распространенных нарушений нормальной физиологической деятельности организма человека. Эффективность применения КВЧ терапии весьма полно освещена в сборниках под редакцией акад.Н.Д.Девяткова и проф.О.В.Бецкого [1–7]. В [1–7]

также рассмотрены современные представления о возможных физиологических и биофизических механизмах взаимодействия КВЧ излучения с живыми системами. Следует иметь в виду, что геометрические параметры отдельных биологических структур и длины волн излучения КВЧ диапазона в организме сопоставимы.

На основе накопленного опыта в настоящее время уже можно сформулировать некоторые общие закономерности, характерные для КВЧ терапии. Кроме того, очевидными являются те проблемы, которые возникают при попытке создания единой концепции системы: организм человека ⟷ КВЧ излучение.

Общими чертами КВЧ терапии являются:

1) *Универсальный характер действия* КВЧ излучения, то есть, вероятно, имеется единый механизм отклика организма, сопровождающийся нормализацией нарушенных физиологических функций, причем этот отклик не зависит от нозологии, места облучения и выбора частоты.

2) *Специфичность действия* КВЧ облучения выражается в наличии связи между эффективностью КВЧ терапии, видом заболевания, областью облучаемого участка кожного покрова и используемой "терапевтической" частотой излучения.

3) *Пространственное разделение* области облучения и локализации его проявления во внутренней части организма. Это, вероятно, указывает и а существование различных каналов передачи первичного эффекта облучения на "целевые" внутренние органы. В первую очередь следует предполагать участие в этих процессах периферической и центральной нервной системы.

4) *Низкая (нетепловая) мощность* КВЧ облучения, которая, хотя и сопровождается "терапевтическими" и иными физиологическими эффектами, не может вызывать заметного повышения температуры в кожном покрове и тем самым оказывать воздействие на интенсивность функционирования активных клеточных и биомакромолекулярных структур. Уровень энергии используемого в практической медицине КВЧ излучения значительно ниже уровня тепловых шумов в молекулярных (в том числе и биомолекулярных) системах.

5) *Наличие частотной зависимости* в настоящее время не поддается однозначной физической интерпретации. Вероятно, это происходит в первую очередь вследствие гетерогенности структур, воспринимающих и проводящих эффекты КВЧ излучения. Остается неясным — носит ли частотная зависимость отклика организма резонансный характер, либо здесь задействованы эффекты иной физической природы.

6) *Нетепловое КВЧ облучение организма здорового человека* сопровождается инструментально регистрируемым откликом (энцефалография [6, стр.187] и др.).

7) *Наличие лаг-периода* для получения отклика на КВЧ облучение в

организме здорового и больного человека указывает на необходимость синхронизации процессов в цепи первичная мишень → передающая система → "целевой" орган (реализация терапевтического эффекта).

8) *Высокая степень гидратации* является необходимым условием для функционирования структур, участвующих в реализации КВЧ облучения в организме.

Таким образом, при анализе принципов КВЧ терапии важнейшей проблемой является молекулярная природа первичной мишени, принимающей (поглощающей) КВЧ излучение, а также вопрос о физических механизмах трансформации этой энергии в биологически значимый сигнал.

В ответ на КВЧ облучение первичный нервный импульс может генерироваться в рецепторных клетках кожи. В этом смысле соответствующие рецепторные клетки выполняют функцию первичной *физиологической мишени* для КВЧ излучения, в которой может происходить индукция активного ионного транспорта с участием специальных мембранных белков (ионных каналов).

Непосредственно воздействие КВЧ излучения на клетки–мишени маловероятно по ряду причин.

Применяемая в КВЧ терапии нетепловая интенсивность КВЧ облучения недостаточна для структурного отклика в клетке и клеточных структурах. Кроме того, следует учитывать ослабление интенсивности облучения в поверхностном слое кожного покрова. В принципе, можно было ожидать резонансный отклик в клеточных структурах белковой природы (ферменты, коллаген, белки–каналы и т.д.), так как ранее было установлено, что теоретическая оценка собственных частот для глобулярных белков дает величины близкие к частотам КВЧ диапазона. Однако оказалось, что добротность белковых структур настолько низка, что реализация их резонансного возбуждения на стадии генерации первичного сигнала заведомо не осуществима [5, стр.227].

Ранее нами был предложен альтернативный механизм КВЧ стимуляции физиологической активности в белковых структурах, генерирующих отклик в виде первичного нервного импульса [4, стр.193]. В этой модели роль первичной *молекулярной мишени* выполняют молекулы воды, имеющиеся в значительном количестве в кожном покрове. Функции молекул воды в коже, как первичных мишеней, основаны на специфике взаимодействия воды как с КВЧ излучением, так и с веществами белковой природы. Соответствующие данные были получены нами с помощью двух независимых экспериментальных подходов: 1) абсорбционная миллиметровая спектроскопия водных систем [7, стр.560]; 2) гидратационная индукция физиологической активности глобулярных белков в маловодных системах [8].

2. АБСОРБЦИОННАЯ МИЛЛИМЕТРОВАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ И НЕЭЛЕКТРОЛИТОВ. МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Для исследования поведения низкомолекулярных электролитов и неэлектролитов, а также биополимеров, нами использован оригинальный метод, основанный на измерении коэффициента поглощения (α, дБ/мм) КВЧ излучения воды и водных растворов в заданном интервале концентраций [7, стр.685]. Измерения проводили на установке квазиоптического типа [9] с терморегулируемой кюветой переменной толщины. Коэффициент поглощения определялся по изменению интенсивности проходящего сигнала при изменении толщины слоя исследуемого раствора:

$$\alpha_{exp} = (10/\Delta l)\lg(I_1/I_2),$$

где Δl — изменение толщины слоя; I_1 и I_2 — интенсивности проходящего сигнала для двух толщин слоя l_1 и l_2.

Основой метода является исследование концентрационных зависимостей поглощения КВЧ излучения водными растворами веществ различной химической природы (низко- и высокомолекулярных электролитов и неэлектролитов) в широком интервале концентраций и температуры растворов. Проведенные исследования показали, что в подавляющем большинстве случаев наблюдается неаддитивность поглощения, т.е. невыполнение известного в оптической спектроскопии закона Ламберта–Бера:

$$\alpha_{exp} \neq \sum_i \alpha_i \equiv \sum_i C_i æ_i = \alpha_{ad},$$

где C_i и $æ_i$ — молярные концентрация и коэффициент поглощения i-компоненты раствора ($i = 1$ — вода, $i = 2, 3, \ldots$ — растворенные вещества).

Установлено, что величина отклонения α_{exp} от α_{ad} (дефицит поглощения $\delta\alpha = \alpha_{ad} - \alpha_{exp}$) является мерой интенсивности ММВ воды и растворенного вещества в растворе. Она обусловлена изменением вращательной подвижности молекул воды в гидратной оболочке молекулы растворенного вещества по сравнению с их подвижностью в объеме раствора. Показано, что $\delta\alpha$, как качественная и количественная характеристика гидратации растворенного вещества, может быть положительной и отрицательной величиной, что зависит от химической природы растворенного вещества. Когда вращательная подвижность молекул воды в гидратной оболочке растворенного вещества ниже, чем в объеме раствора, $\delta\alpha > 0$ (положительная гидратация). Наоборот, когда вращательная подвижность молекул воды вблизи нейтральных молекул или ионов растворенных веществ выше, чем в объеме раствора, т.е. в водной компоненте системы возрастает фракция молекул–растворов, ответственных за поглощение КВЧ излучения, $\delta\alpha < 0$ (отрицательная гидратация).

По величине $\delta\alpha$ можно рассчитывать эффективные числа гидратации N растворенных веществ, т.е. производить оценку количества молекул воды, изменивших поглощательную способность под действием молекулы растворенного вещества. Если весь дефицит поглощения $\delta\alpha = \alpha_{ad} - \alpha_{exp}$ отнести к иммобилизации молекул воды в гидратной оболочке растворенного вещества, то

$$N = N_\nu = \delta\alpha / \ae_1 C_2.$$

Однако более реальным является предположение, что в разбавленных растворах в результате ММВ вместе с гидратной водой перестает взаимодействовать с КВЧ излучением и гидратируемый неэлектролит ($\ae_2 C_2 \to 0$). В этом случае гидратация выражается числом

$$N = N_\Theta = (\delta\alpha - \ae_2 C_2) / \ae_1 C_2.$$

Практически N_ν и N_Θ заметно различаются только в тех случаях, когда поглощение растворенного вещества α_2^0 сравнимо с поглощением чистой воды α_1^0. Однако такие вещества встречаются крайне редко, т.к. вода является одним из сильно поглощающих КВЧ излучение жидких веществ.

Следует отметить, что величины N_Θ веществ, найденные путем измерения величин α_{exp} на λ 2 мм, находятся в хорошем соответствии с аналогичными величинами, найденными для тех же веществ другими методами.

Выше было сказано, что одним из факторов, определяющих величины α_{exp} раствора, является химическая природа растворенного вещества. По характеру влияния веществ на состояние воды в водной системе, прежде всего, следует различать электролиты и неэлектролиты. В растворах электролитов основное влияние на молекулы воды оказывает электрическое поле ионов. Показано, что в водных растворах неорганических электролитов наблюдается корреляция между данными ММ [7, стр.685, 10] спектроскопии и хорошо известными представлениями о положительной и отрицательной гидратации ионов по Самойлову [11]: ионы с положительной гидратацией ($Na^+ < Li^+ < Ca^{2+} < Mg^{2+}$; $H_2PO_4^- < CO_3^{2-} < HPO_4^{2-}$) уменьшают поглощательную способность воды ($\delta\alpha > 0$), и наоборот, ионы с отрицательной гидратацией ($OH^- < Cl^- < K^+ < H^+$) увеличивают ее ($\delta\alpha < 0$). В приведенных рядах ионы расположены в порядке увеличения их вклада (по абсолютной величине) в $\delta\alpha$ раствора.

Водные растворы солей являются многокомпонентными системами, что не позволяет только по данным КВЧ спектроскопии определять числа гидратации отдельных ионов, если заранее не известны независимые величины N_Θ хотя бы для одного из ионов. Так, при использовании для расчетов чисел гидратации N_Θ ионов известного из [12] значения N = 5,5 для иона Ca^+ миллиметровая абсорбционная спектроскопия дает следующие результаты [7, стр.700]:

Таблица 1

Ион	Na^+	Li^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Cl^-	K^+	H^+	$H_2PO_4^-$	CO_3^{-2}	HPO_4^{-2}
N_Θ	1.0	2.4	5.5	8.0	-1.6	-2.1	-3.7	1.0	2.0	4.5

В водных органических неэлектролитах состояние растворителя, в основном, может изменяться вследствие образования молекулами воды Н–связей с полярными группами молекул растворенных веществ (гидрофильная полярная гидратация) и(или) вследствие реорганизации системы Н–связей между молекулами воды вокруг неполярных групп (гидрофобная гидратация). Гидрофобная гидратация, как правило, приводит к уменьшению вращательной подвижности молекул воды вблизи неполярных центров ($\delta\alpha > 0$). Наблюдаемая неаддитивность поглощения в водных растворах $\alpha_{exp} < \alpha_{ad}$ ($\delta\alpha > 0$) является экспериментальным признаком торможения вращательной подвижности молекул воды в соответствующих комплексах. Если время жизни комплексов вода — неэлектролит, образованных за счет Н–связей, меньше 10 пс, эффект замораживания вращательных степеней свободы молекул воды проявляться не будет.

Удобными объектами для установления чувствительности КВЧ излучения к гидрофильной и гидрофобной гидратации являются алифатические спирты. Молекулы алифатических спиртов общей формулы ROH могут возмущать структуру воды двумя независимыми путями: за счет гидрофильной гидратации OH–групп и за счет гидрофобной гидратации углеводородных групп R. В качестве примера приведем данные для метанола и четырех изомеров бутанола при 20°C на λ 2 мм (рис.1):

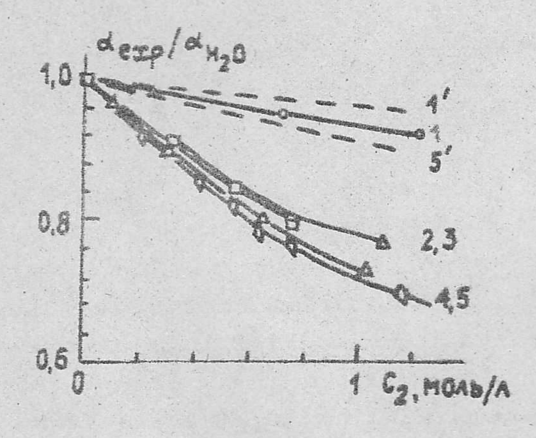


Рис.1:

$CH_3OH - CH_3(CH_2)_3OH - (CH_3)_2CHCH_2OH - CH_3CH_2(CH_3)CHOH - (CH_3)_3COH.$

метанол н–бутанол изо–бутанол втор–бутанол трет–бутанол

Как видно из рис.1 экспериментально найденные величины относительного поглощения ($\alpha_{exp}/\alpha_{H_2O}$, где α_{H_2O} — поглощение чистой воды) для метанола — 1, н–бутанола — 2, изо–бутанола — 3, втор–бутанола — 4 и трет–бутанола — 5 больше величин поглощения присутствующей в растворах воды (пунктирные линии 1' — для метанола и 5' — для трет–бутанола), т.е. во всех случаях $\delta\alpha > 0$. Но если для метанола эта величина сравнительно невелика, то для бутанолов она существенно возрастает. Главное отличие метанола от бутанолов — размер углеводородного радикала R, взаимодействие которого с водой энергетически невыгодно. В этом проявляется эффект гидрофобной гидратации, физический смысл которого состоит в реорганизации (стабилизации) структуры воды на границе раздела с углеводородным радикалом R молекулы ROH. Анализ вкладов гидрофобной (N_Θ^R) и гидрофильной (N_Θ^{OH}) гидратации спиртов $N_\Theta = N_\Theta^{OH} + N_\Theta^R$ [13] показал, что уменьшение N_Θ с ростом температуры до величины $N_\Theta \simeq 1,5 \div 2,0$ для всех спиртов указывает на разрушение гидрофобной части гидратной оболочки амфифильного неэлектролита, и при $T > 50°C$ величины N_Θ определяется, в основном, N_Θ^{OH}, а вклад $N_\Theta^R \simeq 0$.

Приведенные в табл.2 величины N_Θ^R для бутанолов

Таблица 2

R	CH_3	н–C_4H_9	изо–C_4H_9	втор–C_4H_9	трет–C_4H_9
N^R	0.3	9.0	9.0	10.1	11.7

показывают, что на величину N_Θ^R оказывает влияние не только размер, но и структура гидрофобного радикала R.

Таким образом, абсорбционная миллиметровая спектроскопия является эффективным экспериментальным методом для оценки вкладов как гидрофильной, так и гидрофобной гидратации амфифильных неэлектролитов.

При образовании ассоциатов амфифильных соединений, имеющих сильно полярные и большие гидрофобные группы, образуются ассоциаты (мицеллы) таким образом, что их гидофильные группы находятся предпочтительно в контакте с полярной водной средой, а гидрофобные, соответственно, ассоциированы за счет т.н. гидрофобных взаимодействий, чем реализуется энергетически наиболее выгодное состояние системы. В

основе такого рода процессов лежат те же закономерности, что и при образовании различных биосистем (белки, мембраны и др.).

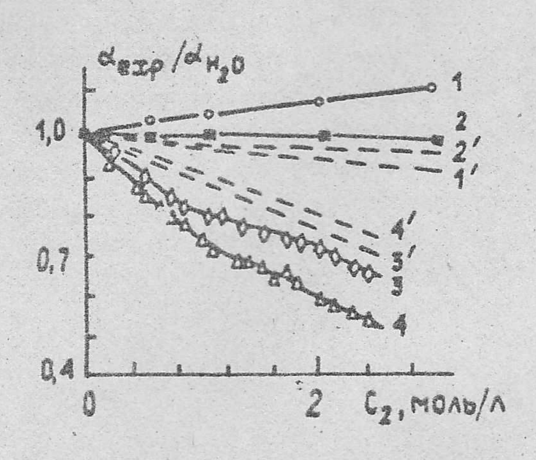


Рис.2:

Гидратационные процессы, характерные для коллоидных систем, наглядно проявляются на примере водных растворов капронатов натрия и калия, $CH_3 - (CH_2)_4 - COONa(K)$. Концентрационные зависимости относительного поглощения КВЧ излучения на λ 2 мм (рис.2) как для капроната натрия (3), так и для капроната калия (4) (пунктирные линии 3' и 4' — вклад в поглощение присутствующей в растворе воды) отражают сложный характер взаимодействия этих соединений с водой [3, стр.209]. При $C_2 \leq 1$ моль/л, когда растворы являются молекулярными (отсутствуют ассоциаты), падение поглощения происходит линейно с ростом C_2. Дефицит поглощения в этих растворах обусловлен как гидрофобной гидратацией группы C_5H_{11}, так и гидрофильной (полярной) гидратацией ионов COO^-, Na^+ или K^+. В области $C_2 \approx 1 - 1,7$ моль/л, где происходит образование ассоциатов, скорость прироста величин $\delta\alpha$ снижается. В этой области гидрофобная гидратация дополнительно не проявляется вследствие вытеснения углеводородных групп C_5H_{11} из водного окружения внутрь ассоциатов. При $C_2 > 1,7$ моль/л образуются агрегаты псевдомицелл и характер кривых поглощения α_{exp} определяется концентрацией полярных групп на поверхности агрегатов. Из того же рис.2 несовпадение кривых для капронатов Na^+ и K^+ можно объяснить противоположным по знаку влиянием на состояние воды в растворе ионов K^+ и Na^+. Это видно из зависимостей 1 (KCl) и 2 ($NaCl$), а также из данных о гидратации ионов Na^+ и K^+, о чем было сказано выше.

Таким образом, из полученных данных следует, что в случае сильных гидрофобных взаимодействий между молекулами амфифильных соединений ММИ излучение фиксирует преимущественно эффекты гидрофильной гидратации.

Приведенные выше для неэлектролитов примеры демонстрировали эффекты положительной гидратации. Но для неэлектролитов, как и для электролитов, обнаружены случаи, когда вращательная подвижность молекул воды, иммобилизованных молекулами неэлектролита за счет Н–связей, выше, чем в среднем в объеме раствора. Парадоксальное на первый взгляд явление, как показано, заложено в химической природе соответствующих органических соединений. Наиболее подробно такое явление, названное нами отрицательной гидратацией неэлектролитов (по аналогии с отрицательной гидратацией ионов), изучено на примере мочевины [14, 15] — продукте метаболизма живых организмов.

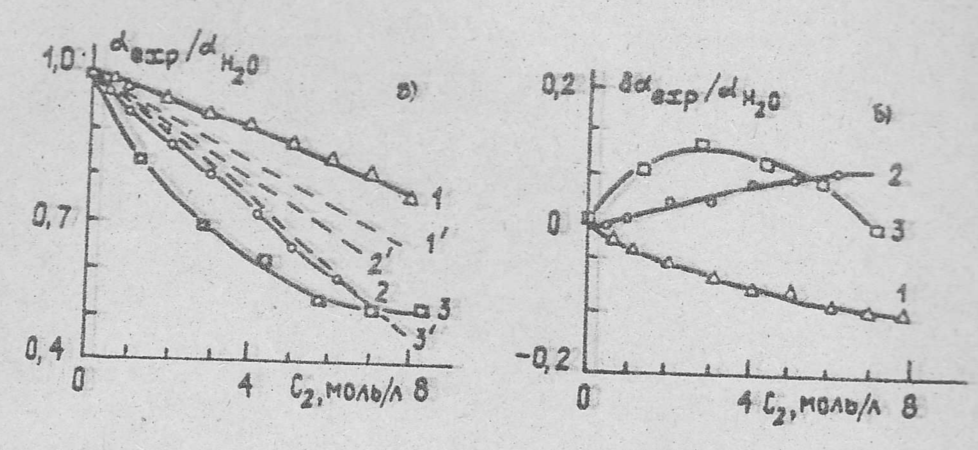


Рис.3:

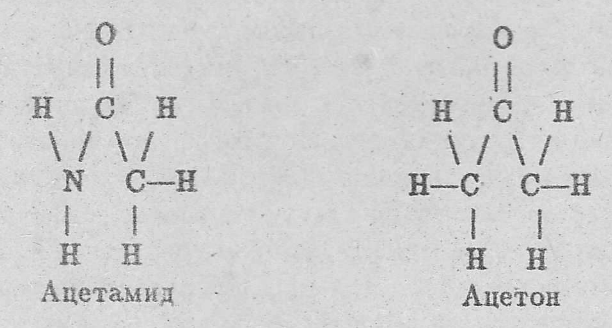
Из полученных экспериментальных данных (рис.3а, б) следует, что во всем интервале растворимости мочевины (кривые 1) имеется избыточное поглощение (отрицательный дефицит $\delta\alpha$ по отношению к ожидаемому поглощению водной компоненты $æ_1 C_1/\alpha_{H_2O}$ — пунктирная кривая 1 на рис.3а).

В настоящее время не существует общепринятого объяснения необычайных свойств водных растворов мочевины на молекулярном уровне. По нашему мнению, разрушение структуры воды происходит за счет особенностей структуры молекулы мочевины, и вследствие этого характера ее взаимодействия с водой [14].



является плоской полярной молекулой, имеющей 5 центров гидрофильной гидратации. Два атома H_{cis} и карбониальный атом O могут взаимодействовать с молекулами воды с потерей ими как поступательных, так и вращательных степеней свободы (положительная гидратация), в то время как у двух атомов H_{trans} может разместиться только одна "избранная" молекула воды, что следует из геометрических параметров молекулы мочевины [16, 17]. Высказанное в [14] предположение о том, что отрицательный дефицит поглощения в водных растворах мочевины обусловлен способностью эффективно поглощать КВЧ излучение "избранной" молекулой воды, совершающей свободные вращательные и только весьма ограниченные поступательные тепловые движения, подтверждается квантово-химическим расчетом *ab initio* потенциального профиля системы вода — мочевина [18]. Полученные нами данные о гидратации мочевины [15] находятся в хорошем соответствии с данными других методов [17, 19].

Концепция об отрицательной гидратации мочевины получила дальнейшее подтверждение в наших исследованиях гидратационных процессов в водных растворах ряда металзамещенных мочевин (N–метил-, N, N' –диметил-, N, N–диметил-, и тетраметил-), у которых последовательно уменьшается вероятность характерного для исходной мочевины эффекта сближения атомов водорода, что приводит к уменьшению вклада отрицательной гидратации в измеряемую величину поглощения α_{exp} [20]. В соответствии с этим находится также отсутствие эффекта отрицательного дефицита поглощения у аналогов мочевины, у которых одна или обе аминогруппы заменены метильными группами (рис.3а, б).



Более высокие величины $\alpha_{exp}/\alpha_{H_2O}$ (рис.3а) и более низкие значения $\delta\alpha$ (рис.3б) для ацетамида (2) по сравнению с ацетоном (3) обусловлены, по-видимому, способностью первого образовывать прочные водородные связи $C = 0...H - N$ в водной среде, что не может иметь место для ацетона.

Как следует из всего вышесказанного, ММ спектроскопия регистрирует суммарные гидратационные эффекты: наблюдаемый знак эффекта гидратации является результатом преобладания эффектов одного знака над другим. Это, с одной стороны, осложняет, а с другой стороны, помогает исследовать процессы гидратации сложных полуфункциональных

органических соединений и различных макромолекул.

3. ГИДРАТАЦИЯ ГЛОБУЛЯРНЫХ БЕЛКОВ. ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ИХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Рассмотренные выше методические основы абсорбционной миллиметровой спектроскопии для водных растворов низкомолекулярных электролитов и неэлектролитов являются основой для исследования более сложных водных систем. В данном разделе мы рассмотрим имеющиеся экспериментальные данные для системы вода – белок. На рис.4 приведены результаты измерения поглощения $\alpha_{exp}/\alpha_{H_2O}$ водными растворами глобулярных белков (яичный — □□□ и сывороточный — △△△ альбумин, α–химотрипсин — ○ ○ ○) в зависимости от относительного количества вытеснений белком воды из раствора. Наблюдаемый положительный дефицит поглощения практически одинаков для всех исследованных сильно различающихся по молекулярному весу белков. Рассчитанные степени гидратации (H_s) исследованных белков составляют примерно 0,3 г H_2O на 1 г белка. Все это находится в хорошем соответствии с многочисленными данными различных физических методов [8]. Таким образом, миллиметровая спектроскопия оказалась удобным инструментом для определения степени гидратации белков, а также других высокомолекулярных соединений [7, стр.695], непосредственно в водном растворе.

Другой способ определения емкости гидратной оболочки состоит в измерении степени гидратации по количеству воды, связываемой твердыми препаратами белков в насыщенных парах воды. Белки в твердой фазе способны связывать до 0,3 г H_2O/г, т.е. емкость гидратной оболочки в твердой фазе и в водном растворе совпадает. На рис.5 показана зависимость степени гидратации твердого аморфного препарата белка от относительного давления паров воды (p/p_s). Важно отметить, что твердые препараты фермента способны осуществлять ту же физиологическую функцию, что и в растворе. Однако условием протекания реакции в твердой фазе в отсутствие растворителя является адсорбция паров воды. На рис.6 приведена зависимость предельного выхода (в относительных единицах) твердофазных реакций α–химотрипсина от относительного давления паров воды p/p_s: 1 — инактивация бензилсульфонилфторидом, 2 — гидролиз n –нитроанилида N –сукцинил–L–фенилаланина [21]. Такие реакции ранее были известны только в фазе водного раствора.

Характер включения ферментативной активности α–химотрипсина в твердой фазе является триггерным, т.к. диапазон $p/p_s = 0 \div 1$ делится на две части (рис.6): при низких p/p_s амидный субстрат устойчив, в то время как при $p/p_s > 0,5$ наблюдается интенсивный гидролиз субстрата. В этой реакции имеют место все стадии ферментативной реакции, ти-

пичные для α-химотрипсинового катализа в водной среде.

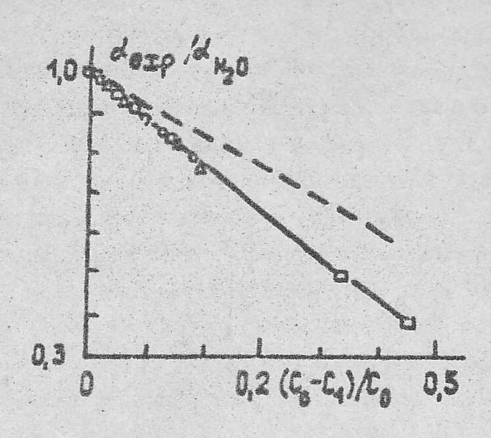


Рис.4:

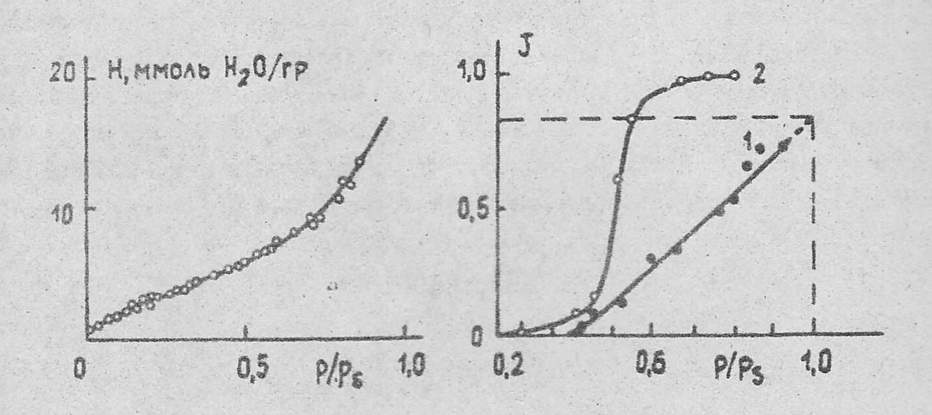


Рис.5, 6:

Физиологическая активность белков в водной среде [8] и в твердой фазе, установленная экспериментально, имеет по нашему мнению важное значение для понимания механизма действия КВЧ излучения на живые организмы. Методом ММ-спектроскопии было показано, что адсорбированные молекулы воды не поглощают КВЧ излучение, т.е. являются прочно иммобилизованными [22]. Потенциально активные структуры кожи находятся в маловодных условиях, т.к. несмотря на высокое содержание воды, большая ее часть находится в иммобилизованном состоянии. В то же самое время доля поглощающих КВЧ излучение молекул воды сравнительно невелика. Стимуляция физиологической активности белков осуществляется, вероятно, за счет обмена молекул воды между поверхностью глобулы и ее окружением.

Ранее было показано, что КВЧ облучение повышает химическую активность молекул воды [23]. Наличие КВЧ индуцированного увеличения химической и термодинамической активности воды должно приводить к увеличению скорости обмена молекул воды у поверхности белковой глобулы, что должно сопровождаться ростом среднеквадратичной амплитуды взаимных смещений атомов в молекуле белка (динамическая структура). Особенно это может проявляться в реальных маловодных биологических системах (например, в коже). Усиление активности воды в кожном покрове под воздействием КВЧ облучения может стимулировать динамику белков–каналов, и следовательно, триггерно включать физиологическую активность мембранных и других белков. Устранение в этом случае нарушения деятельности активных структур может сыграть важную роль в реализации биологических эффектов КВЧ излучения.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ отметим, что на основе данных о взаимодействии КВЧ излучения с различными водными системами можно предложить следующую схему воздействия электромагнитного излучения того же диапазона на биологические структуры. В предложенной схеме первичный акт взаимодействия с КВЧ излучением происходит на уровне поглощения электромагнитной энергии фракцией подвижных молекул воды. Соответствующие молекулы воды выполняют функцию *молекулярной первичной мишени.* Такие молекулы воды являются медиаторами переноса энергии внешнего КВЧ излучения на биологически активные макромолекулярные структуры, т.е. на *первичные физиологические мишени.* Данная схема позволяет объяснить ряд характерных признаков КВЧ терапии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нетепловые эффекты миллиметрового излучения. / Сб.статей под ред. акад.Н.Д.Девяткова. – М.: ИРЭ АН СССР, 1981.
2. Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты. / Сб.статей под ред.акад.Н.Д.Девяткова. – М.: ИРЭ АН СССР, 1983.
3. Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. / Сб.статей под ред.акад.Н.Д.Девяткова. – М.: ИРЭ АН СССР, 1985.
4. Медико–биологические аспекты миллиметрового излучения. / Сб.статей под ред.акад.Н.Д.Девяткова. – М.: ИРЭ АН СССР, 1987.
5. Миллиметровые волны в медицине и биологии. / Сб.статей под ред. акад.Н.Д.Девяткова. – М.: ИРЭ АН СССР, 1989.
6. Миллиметровые волны в медицине. / Сб.статей под ред.акад.Н.Д.Девяткова и проф.О.В.Бецкого. – М.: ИРЭ АН СССР, 1991.
7. International Simposium Millimeter Waves of non–Thermal Intensity in

Medicine. Digest of Papers. Oct.3–6, 1991, Moscow.
8. Хургин Ю.И. // Ж.Всес.хим.общ.им.Д.И.Менделеева. 1976. N 6. С.684.
9. Аплеталин В.Н., Мериакри В.В., Чигрей Е.Е. // Приборы и техника эксперимента. 1971. N 5. С.149.
10. Фалеев А.С., Кудряшова В.А., Гайдук В.И. и др. // Ж.Физ.-хим. 1977. Т.51. С.1133.
11. Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. – М.: АН СССР, 1975.
12. Enderby J.E. // Sci.Prog.Oxf. 1981. V.67. P.553.
13. Завизион В.А., Кудряшова В.А., Хургин Ю.И. // Изв.АН СССР. Сер. Химия. 1989. N 8. С.1755.
14. Девятков Н.Д., Бецкий О.В., Завизион В.А. и др. // Докл.АН СССР. 1982. Е.264. N 6. С.1409.
15. Хургин Ю.И., Кудряшова В.А., Завизион В.А. // Изв.АН СССР. Сер. Химия. 1990. N 2. С.314.
16. Caron A., Donohue J. // Acta Cristallogr. 1969. V.B25. P.404.
17. Finney J.L., Turner J. // Ann.N.-Y. Acad.Sci. 1986. V.482. P.127.
18. Бурштейн К.Я., Хургин Ю.И. // Изв.АН СССР. Сер.Химия. 1984. N 9. С.2044.
19. Astrand P.O., Wallquist A., Karstrom G., Linse P. // J.Chem.Phys. 1991. V.95. P.8419.
20. Хургин Ю.И., Кудряшова В.А., Завизион В.А. // Изв.АН СССР. Сер. Химия. 1990. N 2. С.321.
21. Хургин Ю.И., Максарёва Е.Ю. // Биоорганическая химия. 1991. Т.17. N 1. С.70
22. Хургин Ю.И., Нейссенбаум В.Д., Беляков Е.В. и др. // Докл.АН СССР. 1988. Т.299. С.929.
23. Майрановский С.Г., Путвинский А.В., Полников И.Г. и др. // Докл. АН СССР. 1985. Т.282. С.931.

Институт радиотехники и электроники РАН
Институт органической химии РАН

Поступила в редакцию
28 июля 1993 г.

THE INTERACTION OF EHF RADIATION WITH BIOMOLECULAR SYSTEMS

Yu.I.Khurgin, V.A.Kudryashova, V.A.Zavizion

The data of MM wave absorption in aqueous solution are summarized. The features of experimental exhibition of positive (hydrophylic and hydrophobic) and negativ (hydrophylic) hydration are formulated. It is shown the approach suggested can be used for investigation of hydration of macromolecular system, in particular for aqueous solution of proteins. A scheme which explain the particularities of EHF irradiation interaction with biological systems in both laboratory and clinical conditions is suggested.

It is proposed a methodology which explaines some details of extremely high frequency (EHF) therapy on the base of millimeter absorption experimental data of aquepous solutions of organic and inorganic electrolytes and nonelectrolytes as well as globular proteins. Water molecules in skin, which are capable to transmit the MM wave energy to primary physiological targets of biological nature, are assumed to be a primary molecular target of EHF irradiation.

УДК 612.014.424.5

ОБ АУТОДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ЧЕЛОВЕКА И ЕЕ РОЛИ (ПЛАСТИНЫ РЕКСЕДА КАК ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ НЕЙРОПРОЦЕССОР)

Д.С.Чернавский, В.П.Карп, И.В.Родштат

Сформулировано положение, согласно которому терапевтический эффект пунктурного воздействия является результатом коррекции дефектов аутодиагностической системы (АДС) человека.

Структура и функции АДС рассмотрены с позиций современной теории распознавания, нейрокомпьютинга и нейрофизиологии.

Сформулированы необходимые условия, которым должна удовлетворять АДС. Показано, что теоретическим условиям удовлетворяют пластины Рекседа, представляющие собой часть центральной нервной системы и образующие серое вещество спинного мозга.

На основании имеющихся биохимических и морфологических данных рассмотрен механизм работы пластин Рекседа в целом (как АДС) и каждой пластины в отдельности (как нейропроцессоров, выполняющих определенные функции).

Рассмотрены возможные дефекты распознающей системы и способы их коррекции за счет сигналов, возникающих в биологических активных точках (БАТ) при пунктурном КВЧ воздействии.

В настоящее время интенсивно изучается метод воздействия на живые организмы электромагнитных волн Крайне Высокой Частоты (КВЧ излучение) [1, 2, 3, 4], которые воздействуют на Биологически Активные Точки (БАТ) и(или) активные зоны человеческого тела. При этом достигается терапевтический эффект при лечении ряда заболеваний [3, 4].

Цель нашего сообщения — обсудить возможный нейрофизиологический механизм формирования терапевтического эффекта КВЧ облучения. Предлагаемый механизм основан на ряде гипотез и не претендует на универсальность. Так, при КВЧ облучении возможны локальные эффекты (также терапевтического характера), не связанные непосредственно с нервной системой, которые здесь обсуждаться не будут. В этом аспекте обсуждаемый механизм охватывает лишь часть КВЧ терапевтических эффектов, а именно ту часть, которая преимущественно относится к облучению так называемых биологически активных точек (БАТ).

При исследовании механизма рефлексотерапии мы будем пользоваться сведениями из трех различных разделов современной науки: 1) теории узнавания образа, 2) теории нейрокомпьютинга и 3) современной нейрофизиологии. Первые два относятся к математике и в медицинском мире

не известны. Поэтому необходимые сведения из них мы постараемся изложить по возможности наглядно, не прибегая к математическому формализму.

Первичные процессы, возникающие при КВЧ облучении, рассмотрены в [5]. Наиболее вероятный процесс — быстрый переход излучения в тепло и повышение температуры на 0,1–1°C тонких слоев кожи (~ 1 мм).

Тепловое воздействие КВЧ излучения на кожу имеет ряд специфических особенностей [6, 7].

Можно сказать, что КВЧ облучение вызывает в коже тепловой микромассаж. Эффект его может сильно отличаться от статического равномерного нагревания, подобно тому, как обычный массаж отличается от постоянного равномерного давления. В этом смысле можно сказать, что эффект КВЧ облучения отличается от теплового, понимая под последним равномерное прогревание. Нервные сигналы, возбуждаемые при таком массаже, не воспринимаются организмом как тепловые (несмотря на то, что первичным агентом является тепло), но воспринимаются как сигналы, смысл которых мы обсудим ниже.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При обсуждении возможных механизмов терапевтического отклика мы будем исходить из следующих положений.

1. В организме имеются системы защитных сил. Они способны защитить не только от "врагов внешних" (вирусы, микроорганизмы), но и устранить дефекты внутренних регуляторных систем (при так называемых дизрегуляторных заболеваниях). Иными словами, защитные силы способны привести организм из одного из патологических состояний (которых много) в нормальное. (Мы отвлекаемся пока от вопроса о том, что "нормальное состояние" — понятие размытое и включает в себя множество подсостояний.) Защитные силы включают иммунную, гормональную и нейрогуморальную системы, а также синтез ферментов (в частности, протолитических) и их медиаторов.

Образно выражаясь, в организме имеется богатая аптека, или, точнее, фармацевтическая промышленность, превосходящая по своим возможностям современную фармакологию.

Действие защитных сил можно назвать аутотерапией. Однако, эти силы не всегда используются достаточно эффективно, и это зависит от работы другой системы — аутодиагностической.

2. В организме имеется система аутодиагностики. Ее задача состоит в том, чтобы по сигналам, поступающим из различных органов, определить, в каком именно состоянии они находятся (в нормальном или патологическом, каков характер патологии в последнем случае), чтобы на

основании этого сформировать определенный аутотерапевтический отклик.

Два первых положения о существовании аутотерапевтической и аутодиагностической систем означают, что исполнительная и информационная функции в организме разделены, выполняются разными структурами и требуют различных энергетических затрат (исполнительные — больших, информационные — малых). Вопрос, где размещается аутодиагностическая система и как она работает, мы обсудим несколько позже.

Рассмотрим ситуацию, когда одна из систем дефектна. Некоторые дефекты аутотерапевтической системы обычно компенсируются внешней терапией. Это, как правило, сильные воздействия: прием лекарств в больших дозах, хирургическое вмешательство и т.д.

Дефекты аутодиагностической системы могут быть устранены более слабыми воздействиями, такими, например, как прием лекарств в малых (гомеопатических) дозах, пунктурное воздействие, в т.ч. КВЧ облучение, также относится к слабым, и поэтому можно сформулировать третье положение в виде:

3. Основная функция пунктурного воздействия — компенсировать дефекты аутодиагностической системы.

Чтобы разобраться в том, как это происходит, необходимо проанализировать механизм работы аутодиагностической системы и выделить возможные дефекты. Для этого необходим экскурс в теорию узнавания образа и нейрокомпьютинг.

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗА И НЕЙРОКОМПЬЮТИНГ

Теория узнавания образа возникла сравнительно недавно (лет тридцать тому назад), при этом она опиралась на богатейший опыт повседневной жизни. Затем она быстро развилась и нашла практическое применение в ряде областей. В военном деле она используется при создании устройств, распознающих образ врага (задача: определить по внешним признакам, "наш" самолет или "не наш"). Диагностика сложных технических устройств также основана на этой теории. Медицинскую диагностику можно считать классическим примером узнавания образа.

В данном случае задача узнавания заключается в различении классов заболеваний (или классов состояний), к которым может быть отнесен пациент по совокупности имеющихся у него признаков *.

В общем виде задача узнавания состоит в идентификации узнающей системой предъявляемого объекта с одним из известных (заданных) классов [8, 9].

*Отметим, что в разных медицинских школах (например, в классической европейской, восточной, китайской, тибетской и т.д.) как классы состояний, так и признаки, по которым диагностируется состояние, могут отличаться

Правило идентификации может быть системе либо известно, либо неизвестно. В первом случае система для идентификации конкретного объекта использует уже имеющийся у нее опыт — решающее правило классификации — правило вывода. Во втором случае возникает задача поиска (построения) неизвестного пока решающего правила отнесения конкретного объекта к одному из указанных классов *. И в том, и в другом случае, вообще говоря, допускается ответ, означающий отказ от классификации конкретного объекта.

Решение задачи узнавания во втором случае разделяется на два этапа: обучение на заданном материале (примерах), в результате которого строится решающее правило, и затем — использование системой этого решающего правила для диагностики конкретного объекта.

Считается, что задача узнавания поставлена, если определена цель, т.е. сформулированы классы (диагностики), и заданы те признаки объектов, на которых система будет производить классификацию.

На рис.1 предложена схема основных типов классификации объектов с использованием узнающих систем.

В левом верхнем углу представлен блок "Банк Объектов". Объекты, имеющиеся в банке, могут быть использованы как с целью обучения (обучающее множество), так и с целью постановки диагноза (экзаменуемое множество). Информация из банка поступает в блок первичной обработки (предварительное преобразование признаков). Как правило, количество поступающей информации очень велико, но лишь малая ее часть является диагностически ценной. В блоке "первичной обработки" признаки располагаются в определенном порядке по степени их значимости (группы a, b, ..., n), т.е., образуется иерархия признаков.

В системах узнавания "с обучением" предполагается, что классификация существует (т.е. известна "господу Богу", "верховному судье" или "учителю") и может быть подтверждена. При этом системе классификация может быть либо задана, либо не задана.

В тех случаях, когда классификация не задана (обучение без "учителя"), т.е. нет указаний, к какому классу принадлежит каждый объект материала обучения, процесс выделения групп по критерию сходства получил название кластеризации (вариант 2 схемы). При этом предполагается, что критерий сходства системе задан. В зависимости от заданных критериев на одних и тех же объектах может меняться и сама классификация, и принципы ее построения.

Системы узнавания "с обучением", построенные на предложении о том, что классификация задана (т.е. про каждый объект материала обучения известно, к какому классу он принадлежит), получили название

*Особенность состоит в том, что сведения о принципах разбиения объектов на классы в этом случае система получает не в виде формального определения, а путем наблюдения некоторого числа примеров или эталонов.

"обучение с учителем". Следует отметить, что задание классификации не означает, что известно правило отнесения каждого объекта к тому или иному классу. Это правило система должна построить на основании предложенных ей примеров — материала обучения (вариант 3 схемы).

Обычно в системах такого рода решающее правило вырабатывается "раз и навсегда", т.е. фиксируется по окончании процесса обучения и в дальнейшем применяется ко всем контрольным объектам [10]. Такой подход к поиску разделяющего правила называется методом универсального обучения (УО) (4 по схеме). При этом для части контрольных объектов зафиксированное решающее правило может оказаться недостаточным, т.к. требование минимизации числа "предрассудков" не позволяет включить все информативные конъюнкции в решающий набор на этапе обучения.

В связи с этим в некоторых системах реализован алгоритм классификации с направленным обучением (НО) (5 по схеме). При таком подходе к решению задачи узнавания процесс обучения производится направленно отдельно для каждого контрольного объекта — таким образом, чтобы изучались зависимости только между теми характеристиками, которые имеются только у представленного на экзамен объекта [11, 12]. В такой постановке задачи предпосылкой процесса обучения является задание не только значений признаков (характеристик) для всех объектов материала обучения (для каждого из которых известно, к какому из различных классов он относится), но также и задание характеристик объекта, представленного на экзамен, для которого принадлежность к одному из классов неизвестна и ее предстоит определить. Такая процедура часто называется "контрастированием" образа.

Решение задачи о принадлежности объекта к одному фиксированных классов (и с универсальным, и с направленным обучением) реализуется достаточно широким кругом математических методов классификации (вероятностных, геометрических, методов моделирования, методов перебора конъюнкций и т.д.) [9, 11].

Системы узнавания "без обучения" — "после обучения" (вариант 6 по схеме) иногда называют "узнающим устройством". При создании таких систем используется результат обучения, проведенного на предыдущем этапе, когда уже накоплен "достаточный опыт" в знаниях о свойствах каждого класса, т.е. уже выработано правило, по которому каждый объект (из множества рассматриваемых классов) может быть однозначно отнесен к одному из фиксированных классов.

Системы "без обучения" строятся для быстрого решения задач (в которых уже известны закономерности, а изменяются только параметры). В одном случае предполагается, что каждый класс имеет свой образ — эталон, и задача заключается в идентификации каждого объекта с конкретным эталоном — классом.

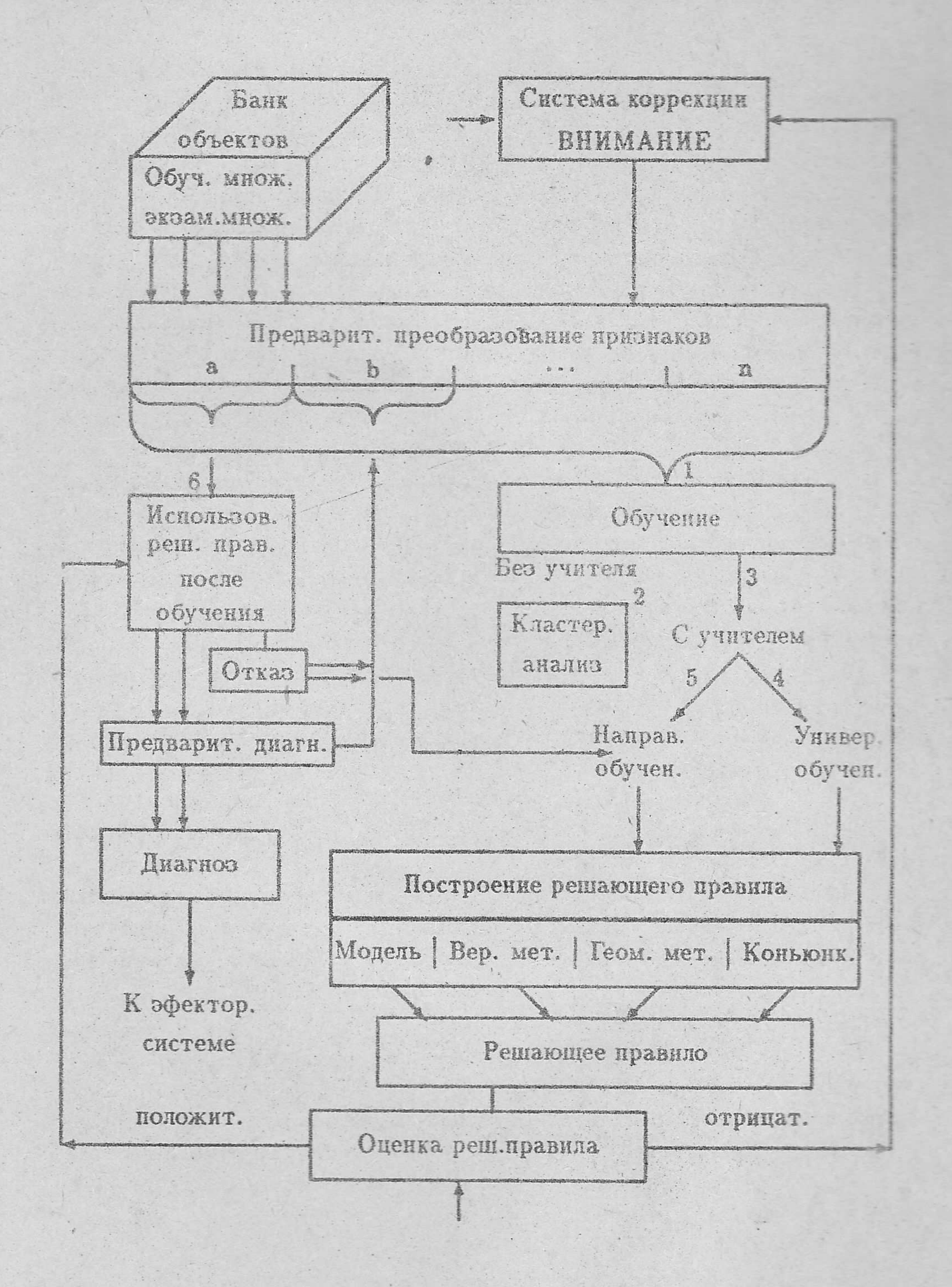

Банк
объектов
Обуч. множ.
экзам.множ.
Система коррекции
ВНИМАНИЕ
Предварит. преобразование признаков
a
b
...
n
1
6
Использов.
реш. прав.
после
обучения
Обучение
Без учителя
3
2
Кластер.
анализ
С учителем
5
4
Отказ
Предварит. диагн.
Направ.
обучен.
Универ.
обучен.
Диагноз
Построение решающего правила
Модель
Вер. мет.
Геом. мет.
Коньюнк.
К эфектор.
системе
Решающее правило
положит.
отрицат.
Оценка реш.правила

Рис.1:

Вариант задания классов показом разнообразных объектов каждого из них получил название "синтез названия класса".

Предполагается, что число примеров (наблюдений) каждого класса достаточно для выработки правил, отличающих один класс от другого. Отсюда следует, чем больше разнообразие объектов класса, т.е. чем большим количеством признаков описан (представлен) объект, тем большее количество объектов требуется для выработки правила. При таком задании классов система "отвлекается" от различий внутри класса и, наоборот, "обращает внимание" на то, чем отличается один класс от другого. предполагается, что если с самого начала в качестве языка описания класса избрать некоторый набор свойств класса, то запоминать в ходу обучения (выработки правила) можно не эталоны классов, а эталоны свойств классов.

В этом случае система, "синтезирующая название класса", может узнавать объекты, принадлежащие к некоторым классам, не участвовавшим в обучении. (Такой подход наиболее близок к реальной оценке деятельности мозга человека в выборе поведения; человек рождается не со знаниями, а со способностью учиться.)

Результат решения задач классификации зависит, очевидно, не только от метода, который лежит в основе узнающей системы, но и в большей степени от выбранного пространства признаков, на которых строится классификация.

Очевидно, что выбор пространства признаков ориентирован на конечную цель, т.е. на фиксированное множество классов. При смене цели меняется формулирование классов, и, следовательно, меняется пространство "полезных" признаков — целевое пространство [11].

Основная особенность решения этой задачи состоит в том, что один и тот же объект может быть описан множеством характеристик, заведомо избыточным для решения какой-либо одной задачи классификации, и при этом может случиться, не имеет характеристик, необходимых для решения другой. Причиной пропущенных данных может быть и невозможность получить (измерить) данные, и отсев их в момент регистрации входным устройством как неинформативных. Это обстоятельство послужило основой развития в узнающих системах способности перерабатывать косвенную информацию об объектах — построение "производных" характеристик, оптимально полезных для поставленной задачи.

Другая, очень важная особенность выбора оптимального пространства признаков состоит в том, что каждый объект, принадлежащий к какому-то классу, несет в себе черты, с одной стороны, типичные для данного класса, с другой — те, что различают между собой классы, а с третьей — те, что представляют собой индивидуальную особенность данного объекта. Отсюда следует, что каждый раз, решая задачу классификации, узнающая система должна выбирать то пространство признаков,

которое оптимально в плане указанной цели.

Как же ищутся признаки, полезные для данной задачи? Процесс отбора полезных признаков состоит из проб и ошибок. Сначала выдвигаются гипотезы о том, является ли признак полезным, а затем проверяются. При этом учитывается не только разнообразие характеристик объектов разных классов по данному признаку, но и степень однообразия характеристик объектов одного и того же класса.

Требования, предъявляемые к полезному признаку, интуитивно можно сформулировать следующим образом. Признак не должен присваивать объектам разных классов одну и ту же характеристику. С другой стороны, он должен присваивать двум объектам одного класса одинаковые характеристики.

Отсюда вытекает одно из требований к узнающей системе. Она должна иметь (содержать в себе) такой алгоритм построения полезных признаков, который обеспечит необходимое их преобразование. Кстати говоря, по наличию (или отсутствию) в системе таких алгоритмов судят о ее "способности" (разрешающей мощности). Эта характеристика системы не зависит от материала обучения, это есть ее собственное свойство.

В правом нижнем ряду схемы представлены блоки, в которых решающее правило строится, запоминается и оценивается. При построении решающего правила используются упомянутые выше методы, в том числе, перебор конъюнкций. Последнее означает выбор наиболее информативных комбинаций признаков. Как правило, это делается не на основе какого-либо обоснованного алгоритма, а, скорее, интуитивно.

В блоке "оценка решающего правила" происходит проверка, удовлетворяет ли оно поставленным целям. В случае положительного ответа решающее правило поступает в блок 6, где используется для "быстрого" диагноза. В случае отрицательного ответа, посылается сигнал о необходимости перераспределить "внимание" (правый верхний блок) и вся процедура повторяется. Часто эту процедуру называют "дообучение".

Понятие "внимание" появилось в теории узнавания совсем недавно, хотя в обыденной жизни используется с незапамятных времен. В теории распознавания "внимание" играет роль на всех этапах и означает следующее:

а) При формировании пространства значимых признаков какие-то из них могут быть либо отброшены (ускользнули от внимания), либо сохранены.

б) Иерархическая структура может формироваться на основе разных принципов. например, при узнавании знакомого можно в качестве первого уровня использовать пол (мужчина - женщина) или одежду (в шапке - без шапки). Выбор зависит от того, на что больше обращено внимание.

в) Составление конъюнкции также зависит от того, на что больше

обращено внимание.

В целом "внимание" представляет собой способ коррекции процедуры обучения, который связан с предисторией узнающей системы и(или) с дополнительной информацией, относящейся к конкретному случаю.

Благодаря "вниманию" процесс распознавания может быть существенно ускорен. Однако есть и обратная сторона: если "внимание" ориентировано ошибочно, то это может привести к ошибочному результату или к отказу узнающей системы.

В схеме присутствуют стрелки, направленные снизу вверх. Они означают, что результат работы предшествующих блоков требуют подтверждения или коррекции. "Подтверждение" часто используется в узнающих устройствах, если диагноз особо ответственен. При этом объект предъявляется узнающей системе несколько раз; возможно, с небольшими вариациями признаков. Каждый раз происходит узнавание, результат которого хранится в памяти. Окончательное решение принимается лишь после сопоставления результатов узнавания.

Таким образом, в современных распознающих системах обязательно присутствуют:

— процедура "обучения";
— операция "контрастирования образа";
— блок "перераспределения внимания";
— процедура "подтверждения".

НЕЙРОКОМПЬЮТИНГ

Процесс узнавания может быть автоматизирован с использованием современных универсальных компьютеров.

Однако в последнее время появились специализированные, так называемые нейрокомпьютеры. Простейший нейропроцессор представляет собой пластину, на которой расположены активные элементы (условно называемые нейронами). В простейшем случае это двухпозиционные автоматы, способные находиться в двух состояниях. В частности, это могут быть лампочки, которые либо "горят" (первое состояние), либо "не горят" (второе состояние), активные элементы соединены связями (проводами). В предельном случае каждый элемент соединен со всеми другими. В действительности число связей может быть и меньше, но должно быть все же достаточно большим.

Каждая связь обладает важным свойством: сила связи необратимо меняется в зависимости от того, течет ли по ней ток. Это достигается за счет специальных устройств (на схеме они изображены прямоугольниками), которые увеличивают сопротивление проводника (т.е. уменьшают силу связи) в случае, когда по нему течет ток.

Предъявление образа или, что то же, ввод первичного набора признаков, производится следующим образом. В определенный момент (принимаемый за начальный) по определенным внешним связям (на схеме они изображены сплошными стрелками) подаются сигналы, переводящие определенные элементы в активное состояние. (Например, некоторые лампочки зажигаются.) В результате работы возникает стационарная картина горящих лампочек, которая соответствует распознанному образу. Эта картина, вообще говоря, не совпадает с исходной (начальной) картиной.

Если начальная совокупность признаков представлена в числовой форме, то необходимо условиться, какая картина горящих лампочек соответствует каждому из признаков, т.е. необходимо закодировать таблицу признаков. Если вводимая информация представлена в визуальной форме (например, в виде картинки, схемы или портрета), то можно ту же картину представить в форме горящих лампочек.

Устроенный таким образом процессор обладает следующими свойствами.

Во-первых, он способен к облучению. Для этого достаточно предъявить процессору стандартный объект–образец (в форме зажженных лампочек), например, букву "Б" (см.рис.2) и поддерживать эту картину достаточно долго. При этом связи между горящими и темными лампочками ослабевают и после выключения внешнего сигнала уже не изменяются.

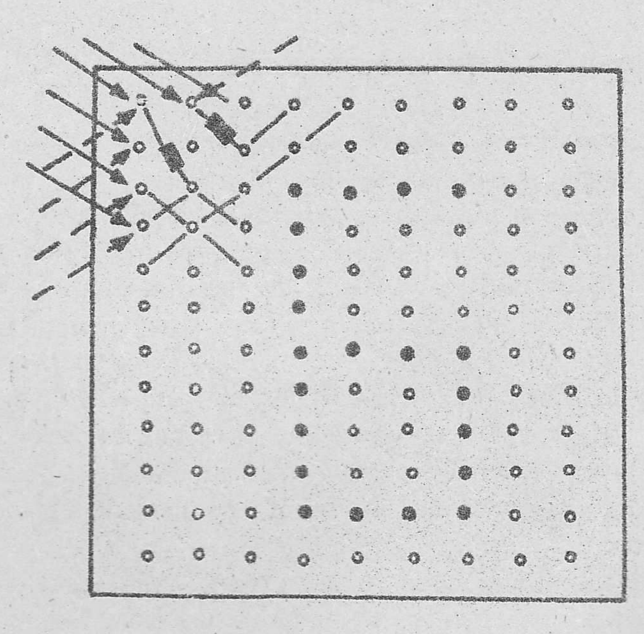


Рис.2:

Процедуру нужно повторить, используя каждый раз объекты–

образцы для разных классов (например, буквы "А", "Б" и т.д.). После обучения процессор может распознавать предъявляемые (экзаменуемые) объекты, соотнося их к определенному классу (из тех, которым он был обучен).

Как обучение, так и распознавание в нейрокомпьютере требует гораздо большего времени (чем в обычном компьютере) и происходит без участия человека. Это связано с тем, что операция выделения значимых признаков, их иерархическая упорядоченность и выбор конъюнкций протекают параллельно и самопроизвольно.

Вместе с тем, простейшие логические операции (сложение, умножение и т.д.) в таких процессорах реализовать трудно.

Проблема "внимания" в нейрокомпьютерах решается следующим образом. К каждому элементу подводится извне специальный проводник (на схеме они представлены пунктирными стрелками). Подаваемые по нему сигналы поступают не на вход элемента, а в другое место, которое регулирует порог возбуждения элемента. Благодаря этому можно сделать систему более восприимчивой к какой-то части образов (или к одному из них) и ослабить внимание к другим.

Рассмотренный выше простейший вариант называется процессором Хопфилда. Он обладает рядом недостатков: в нем трудно реализовать "подтверждение" и трудно организовать направленные потоки информации (поскольку связи симметричны, т.е. ток по проволокам может течь как в одну, так и в другую сторону) сейчас в более совершенных процессорах используются направленные связи (по которым ток течет только в одном направлении) и несколько пластин.

Процедура обучения направленных связей несколько сложнее, чем в процессоре Хопфилда, но принцип остается тот же: связь изменяется, если по ней течет ток.

Сейчас имеются более совершенные нейрокомпьютеры, которые состоят из нескольких пластин. Обсудим их.

Нейрокомпьютер Гроссберга содержит не менее двух пластин. Первая содержит обученные связи, и в ней происходит собственно распознавание. Информация передается на вторую пластину по межпластинчатым связям (не обязательно обученным).

Во второй пластине элементы и связи между ними организованы следующим образом. Каждый элемент имеет связь, замкнутую на самого себя; она обеспечивает самоактивацию элемента. Кроме того, имеются обучаемые тормозящие связи, направленные к другим элементам.

Благодаря этому распознанный образ предстает во второй пластине в форме одного элемента в активном состоянии (т.е.в виде "горящей" лампочки).

Иными словами, образ локализуется в пластине. Этим достигаются следующие преимущества.

Во-первых, увеличивается число распознаваемых образов. Во-вторых, уменьшается вероятность ошибочного распознавания. В-третьих, упрощается задача акцентирования внимания на конкретном образе за счет локализации его в пространстве.

В компьютерах обратного распространения (back propogation) также используется несколько пластин, но с другой целью. Идея back propogation строится на том, чтобы некоторому множеству входов обеспечить соответствие определенного требуемого множества выходов (векторов). При обучении предполагается, что для каждого входного вектора существует парный ему целевой вектор, задающий требуемый выход. Как правило, система в этом случае обучается на многих парах. Процедура обучения в системе (сети) обратного распространения требует выполнения следующих операций:

— выбрать очередную обучающую пару из обучающего множества и подать входной вектор;

— вычислить выход сети;

— вычислить разность между выходом сети и требуемым выходом (целевым вектором обучающей пары);

— подкорректировать веса так, чтобы минимизировать ошибку;

— повторять эти шаги для каждого вектора обучающего множества до тех пор, пока ошибка на всем множестве не достигнет приемлемого уровня.

Вычисления выполняются послойно. Выходы одного слоя используются в качестве входов следующего и т.д. Такая организация обеспечивает процедуру доучивания.

ОЧИЩЕНИЕ ОТ ШУМОВ (КОНТРАСТИРОВАНИЕ)

Очищение от шумов в нейропроцессорах может быть реализовано следующим образом. Пусть на две пластины подано изображение буквы "Б"; на одну — позитивное (т.е. горящие лампочки образуют букву "Б"), а на другую — негативное (буква "Б" образована темными лампочками). Пусть оба образа зашумлены, т.е. некоторые лампочки горят (или не горят) не там, где нужно.

Соединим эти пластины так, что от каждой "горящей лампочки" "негативной" пластины поступает подавляющий "тормозящий" сигнал на соответствующую лампочку "позитивной" пластины.

Тогда "лишние" лампочки позитива будут погашены, а "нелишние" подавляющего внимания не испытают. Повторяя процедуру "позитив — негатив — позитив" несколько раз, можно очистить образ от всех "лишних лампочек".

Подчеркнем, современные нейрокомпьютеры имеют пластинчатую структуру. Это не случайно, дело в том, что каждая из пластин вы-

полняет определенную функцию. В то же время, почти каждый элемент должен быть доступен для связей с внешним миром и(или) с другими пластинами. Двухмерная (пластинчатая) организация удовлетворяет этим условиям, в то время как в трехмерном случае (например, вместо пластин — шары) эти условия выполнить практически невозможно.

Обсудим возможные дефекты распознающей системы.

Качество решения задачи узнавания зависит от двух типов обстоятельств. Внешних по отношению к системе, таких, как задание входного признакового пространства, количество объектов материала обучения, и внутренних, которые определяются качеством состояния самой узнающей системы, включая и "мощность" алгоритма узнавания, заложенного в основу.

Эффективность работы узнающей системы зависит, в основном, от следующих ее "собственных" параметров:

— от уровня сигнала, способного восприниматься данной системой;

— от порога настройки системы (порог не может быть слишком высоким или слишком низким);

— от контрастности системы, т.е. от способности фиксировать различия. Это свойство заложено, в первую очередь, в алгоритме узнавания данной системы.

Перечисленные дефекты можно разделить на три типа:

1. Дефекты, связанные с недостаточностью входящей информации.

2. Дефекты обучения, ведущие либо к "отказу" от диагноза, либо к неверному решению.

3. Дефекты, связанные с распределением внимания.

Последние два типа дефектов близки друг к другу как по проявлениям, так и по методам коррекции (например, дефекты обучения можно скомпенсировать "вниманием"). Различить их все же можно. Например, дефект "неадекватное распределение внимания" исчезает, если "внимание" вообще выключено (т.е. не обращено ни на что).

При этом распознающая система работает медленнее, но без ошибок. В случае дефектов обучения выключение внимания не ведет к уменьшению ошибок; для этого необходимо либо "переучить" процессор, либо перераспределить "внимание" (но не выключить его).

Тем не менее, дефекты обучения и внимания сильно отличаются от дефектов первого типа, и мы, в первом приближении, объединим последние два типа дефектов в один класс. Способы коррекции этих дефектов тоже сильно различаются. Для компенсации дефектов первого класса достаточно усилить сигнал, или продублировать его, или подать на "узнающую" систему такой же сигнал со стороны корректирующей. Такой тип коррекции можно назвать "сложением", ибо результат в этом случае не равен нулю, даже если одна из составляющих сигнала практически отсутствует. например, если сигнал от объекта слаб, но тождественный ему

сигнал от корректирующей системы достаточно велик, то распознающая система "выдаст" правильный диагноз.

Для компенсации дефектов второго класса ("обучение" и "внимание") необходимо перераспределить "внимание". При этом система, в соответствии со схемой 1, сама проведет "переобучение" (или "дообучение") и скорректирует "решающее правило". В этом случае сигналы от корректирующей системы поступают не на вход "узнающей" системы, а в блок "внимание". В нейропроцессоре такие сигналы поступают по пунктирным внешним связям (см.схему 2). Этот тип коррекции можно назвать "умножением", поскольку результат равен "нулю", если сигналы от объекта отсутствуют.

АУТОДИАГНОСТИКА И АУТОТЕРАПИЯ

Обсудим вопрос: какая именно структура в организме ответственна за распознавание состояния, т.е. аутодиагностику?

Из изложенного выше вытекает следующее:

1. Аутодиагностика должна осуществляться в одном из участков центральной нервной системы, но не обязательно в головном мозге (поскольку логические операции для этого не требуются).

2. В распознающую систему должны поступать сигналы как от органов, так и от кожи (т.е. БАТ). В противном случае была бы невозможна коррекция распознавания за счет пунктурных воздействий.

3. Распознающий орган должен иметь пластинчатое строение.

4. Результат работы системы, т.е. "диагноз" должен поступать в систему "принимающую решение" и реализующую его.

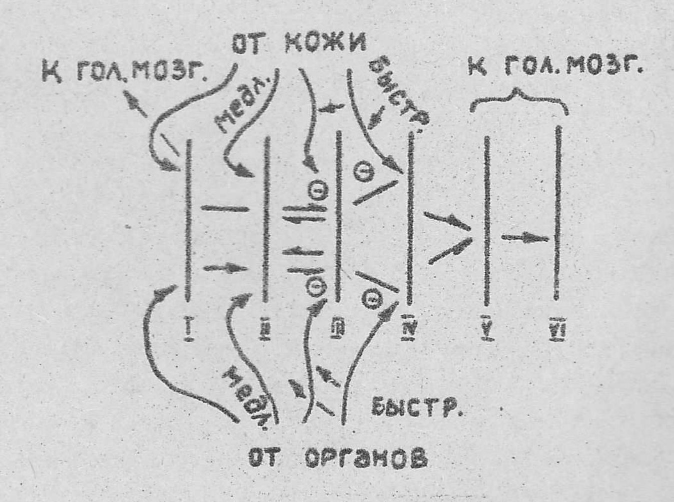


Рис.3:

Наиболее подходящим кандидатом на эту роль представляются пластины Рекседа, формирующие серое вещество спинного мозга. На рис.3 представлена схема пластин Рекседа, точнее, участок, включающий I–VI пластину. Приведем кратко известные сейчас данные (см. [13–18]) и поясним символику рисунка. Первая пластина называется маргинальной (т.е. краевой), она примыкает к белому веществу, и основная часть информации, поступающей в нее, без переработки отправляется в головной мозг. Некоторое количество нервных волокон от клеток I-ой пластины (они относительно длинные и неразветвленные) проникают в вещество дорзального рога. Аксональные части этих клеток, по-видимому, первично адресованы в зрительный бугор, либо также к другим участкам спинного мозга [13]. Некоторое число дендритов проникает через дорзальную поверхность внутрь П пластины. Маргинальные клетки имеют два аксонных выхода. Один из них принимает участие в контралатеральном спиноталамическом тракте, а другой проецируется к различным сегментам спинного мозга через проприоспинальную систему [14].

В первой пластине имеется достаточно богатый набор нейромедиаторов: субстанция Р, энкефалины, норадреналин, серотонин и ГАМК.

Вторая и третья пластины образуют так называемую желатинозную субстанцию, отчасти представляющую собой нейропиль (т.е. переплетение нервных волокон). Обе пластины имеют много общего в смысле дендритной и аксональной организации. Имеется множество комплексных синапсов (аксон–аксональных и аксо–дендритных). Вместе с тем, имеются заметные различия. Во-первых, отличаются первичные афферентные волокна: в пластину Ш входят толстые (грубые) волокна, оканчивающиеся толстыми коллатералями. В пластину П входят тонкие (нежные) коллатерали. Дегенерация первичных афферентных терминалей после дорзальной ризотомии (пересечение заднего корешка) в пластине П происходит гораздо быстрее, чем в пластине Ш. Во-вторых, пластины П и Ш различаются биохимически: во П-й пластине обнаружен тот же состав медиаторов, что и в первой; в Ш-ей обнаружены ГАМК и глютамат, т.е. медиаторный состав ее беднее. В-третьих, сигналы, поступающие от кожи на вторую и третью пластины, отличаются по кинетике. Так, на третью пластину поступают так называемые "быстрые" сигналы (до 66 м/с). На вторую пластину поступают "медленные" сигналы (до 21 м/с).

Таким образом, пластины П и Ш, имеющие много общего, все же отличаются цитоархитектонически и функционально.

Тем не менее, вопрос о том, что называть желатинозной субстанцией (только платину П или их обе), до сих пор не получил общепринятого решения.

На схеме сигналы, поступающие па пластину, представлены линиями. В действительности к каждой пластине подходит разветвленных пучок, воздействующий на множество нейронов. То же относится к стрелкам,

символизирующим передачу информации между пластинами.

Четвертая пластина называется "воротной". В ней сигнал задерживается на некоторое время и ждет, пока не будет обработана вся информация, включая ту, которая поступает по "медленному" каналу. Отсюда происходит название пластины — воротная. Ярко выраженных морфологических особенностей в ней не выделено. Медиаторный состав в ней тот же, что и в Ш-ей, т.е. обнаружены ГАМК и глютамат. На четвертую пластину поступают "быстрые" сигналы от кожи и от предыдущей, Ш-ей пластины. Функциональная особенность IV-ой пластины в следующем: возбуждение (раздражение) полоски кожи проецируется на П-ю и Ш-ю пластины тоже в форме полосы, но на IV-ой пластине оно преобразуется в пятно (или пятна).

Пятая пластина называется ретикулярной (сетчатой) из-за наличия в латеральной ее части большого числа миелинизированных волокон. В ней (как и во П-ой, и в Ш-ей) обнаружен богатый набор нейромедиаторов: субстанция P, энкефалины, серотонин, ГАМК и глютамат.

Шестая пластина имеет темный цвет из-за большого содержания в ней эндоплазматического ретикума (субстанция Ниселя). Медиаторная активность ее меньше, чем в пятой; пока обнаружен только глютамат.

Прямые входные сигналы от кожи и(или) от внутренних органов в V-ую и VI-ую пластины практически* не поступают. Имеются выходные каналы, направленные от пятой и шестой пластин в головной мозг.

Сигналы от предыдущей пластины (на примере П-ой, Ш-ей и IV-ой пластин), как правило, оказывают тормозящее воздействие на сигналы от кожи; это торможение преимущественно пресинаптическое ** [14].

Вопрос о том, является ли торможение избирательным или глобальным, сейчас неясен. Из общих соображений следует ожидать, что избирательность должна иметь место, т.е. тормозящий сигнал от какого-то нейрона предыдущей пластины действует на определенные (но не на все) нейроны последующей пластины.

Сигналы от пластины к пластине имеют направленный характер, т.е. преимущественно распространяются от предыдущей пластины к последующей. исключение составляет пара П-Ш-я пластина, где благодаря нейропилю имеются как прямые, так и обратные сигналы.

На рис.3 внизу представлена схема поступления и переработки информации от внутренних органов. Данные об этом процессе сейчас скудны. Известно лишь, что таковое имеет место и вплоть до пятой пластины происходит независимо от сигналов из кожи. Поэтому мы предположили,

---

*Низкопороговые афференты имеют небольшое число моносинаптических контактов на нейронах V-ой пластины [15].

**Исследования T.Hongo показали, что в IV-ой пластине имеется также постсинаптическое торможение [14]. Существуют указания на наличие в IV (и в V-ой) пластинах прямых кортикальных влияний тормозного типа [18].

что процесс поступления и обработки информации от внутренних органов аналогичен вышеизложенному, что и отражено на рисунке.

О функционировании пластин Рекседа известно не много.

Вопрос о функции органа в целом в литературе до сих пор не обсуждался. О функциональных свойствах отдельных участков известно следующее:

— в IV пластине сигнал задерживается и локализуется (о чем уже упоминалось);

— сигналы от кожи и от органов обрабатываются в первых четырех пластинах независимо;

— в V и VI пластинах происходит "интеграция" информации.

На основании изложенного мы попытаемся представить функционирование пластин Рекседа в целом как аутодиагностической системы и функции каждой из пластин в терминах нейрокомпьютинга.

Сделаем несколько предварительных замечаний.

1. Нейромедиаторы в реальных нейросетях участвуют в осуществлении связей. Более того, с помощью нейромедиаторов легко реализовать обучение связей и изменение "внимания". если набор нейромедиаторов беден (например, всего один тип), то, изменяя их концентрацию, можно модулировать лишь глобальное "внимание". Обучение при этом вообще невозможно (точнее, возможно за счет других средств). Тем не менее, при наличии одного тормозящего медиатора и самовозбуждающихся нейронов можно реализовать концентрацию (и(или) локализацию) образа в соответствии с парадигмой Гроссберга.

При богатом наборе нейромедиаторов можно осуществлять как обучение, так и модуляцию специфического "внимания".

Поэтому пластины с богатым набором нейромедиаторов являются кандидатами на роль процессоров, распознающих образ. пластины с бедным набором нейромедиаторов — кандидаты на роль процессоров, в которых образ локализуется.

2. Наличие комплексных связей свидетельствует о том, что нейроны в пластине сильно взаимодействуют, так что сигналы от нейрона к нейрону внутри пластины передаются как в том, так и в другом направлении. Этому же способствует и присутствие богатого набора нейромедиаторов. Можно предположить, что комплексные связи являются одновременно обучаемыми, т.е. сила и характер связей изменяются в зависимости от числа прошедших через них сигналов (это предположение может быть проверено экспериментально). В этой связи пластины, содержащие большое число комплексных связей, можно рассматривать как кандидатов на роль процессоров, распознающих образ.

3. Наличие ярко выраженного нейропиля во II-ой и III-ей пластинах может означать, что информация многократно переходит туда и обратно. Это характерно для процессора, в котором реализован механизм back

propagation.

4. Наличие "чередующегося" торможения свидетельствует о том, что перед локализацией образа он неоднократно подтверждается.

На основании изложенного можно представить следующий сценарий обработки информации в первых четырех пластинах.

В первой пластине происходит первичная обработка информации, т.е. выделение диагностически значимой информации и формирование вектора признаков в пространстве значимых признаков. Лишняя информация (но, возможно, важная для других целей) отфильтровывается и поступает в головной мозг.

Во второй пластине (и частично в первой) происходит собственно распознание образа. Ее можно рассматривать как уже обученный процессор (в простейшем случае хопфилдовского типа). Вопрос, может ли при этом происходить направленное дообучение, сейчас не ясен.

Третья пластина (совместно со второй), по-видимому, участвует в реализации промежуточного "подтверждения".

На четвертую пластину поступает уже распознанный и подтвержденный образ. В четвертой пластине он концентрируется и локализуется.

Тот факт, что образ представлен в ней в форме пятна, объясняется просто — это результат концентрации его по Гроссбергу.

Кроме того, результат еще раз "подтверждается" и "очищается" сравнением с информацией, поступающей на нее независимо. Это подтверждение происходит по механизму "позитив — негатив — позитив" и требует независимого притока информации к каждой из платин.

Кожа (точнее, БАТ) играет роль корректирующей системы, поэтому термин "интеграция" следует понимать в смысле "коррекция". Как уже упоминалось, последняя нужна только если аутодиагностическая система дефектна. Типы дефектов и способы коррекции уже обсуждались.

На медицинском языке коррекция типа "сложения" соответствует имитации обострения заболевания, если последнее воспринимается аутодиагностической системой недостаточно четко.

В этом случае, при пунктурной терапии должна наблюдаться фаза обострения заболевания, предшествующая терапевтическому эффекту. Тот же эффект должен наблюдаться и в случае пунктурного воздействия на здорового человека.

Коррекция "внимания" означает, что обработанные информации (от органов и от кожи) поступают в V пластину на разные входы: от БАТ — на вход в блок "внимание" и от органов — на вход в блок "объекты".

Процедура "узнавания" повторяется в V и VI пластинах, но с учетом другого распределения "внимания". В этом случае, эффект имитации обострения не должен наблюдаться.

↑ Субстанция Р
↑ Энкефалины
↓ Норадреналин
↕ Серотонин
↓ ГАМК

I пластина Рекседа

Обучение, распознавание, внимание

II пластина Рекседа

Субстанция Р ↑ Энкефалины ↑ Норадреналин ↓ Серотонин ↕ ГАМК ↓	Наличие нейропиля	Гломерулы с дендроаксональными дендродендритными аксоаксональными и аксодендритными синапсами	Тормозной эффект первичных афферентов на нейроны желатинозной субстанции

Ступенчатое дообучение Подтверждение

Одновременное обучение (back propagation)

Контрастирование образа (позитив–негатив)

III пластина Рекседа

Наличие нейропиля	Гломерулы с дендроаксональными дендродендритными аксоаксональными и аксодендритными	Тормозной эффект первичных афферентов на нейроны желатинозной субстанции	↓ ГАМК ↑ Глютамат

Контрастирование образа

Локализация образа (Гроссберг)

IV пластина Рекседа

Пресинаптическое аксональное торможение нейронов с уровня третьей пластины Рекседа

↓ ГАМК
↑ Глютамат

Интеграция независимой информации кожных и висцеральных сигналов

Обучение, распознавание, внимание

↑ Субстанция Р
↑ Энкефалины
↕ Серотонин
↓ ГАМК
↑ Глютамат

V пластина Рекседа

Рис.4:

Приведенный сценарий иллюстрируется схемой 4, на ней представлены биохимические и морфологические данные, важные для понимания функции аутодиагностической системы в целом и каждой из пластин в отдельности.

В заключении сделаем ряд замечаний.

А. Предложенная схема работы пластин Рекседа не может рассматриваться, как окончательная; она является рабочей гипотезой, позволяющей ставить целенаправленные эксперименты.

Б. Наряду с изложенной моделью могут реализоваться другие простые механизмы, в которых распознавание играет менее важную роль.

Например, при воздействии на точки общей анестезии формируется сигнал, который по нервным волокнам попадает в нервный центр, где вызывает синтез энкефалинов и эндорфинов.

При КВЧ облучении больших суставов возможен другой механизм, рассмотренный в работе [19].

Обсуждаемый выше механизм относится в первую очередь к случаю, когда подвергаются КВЧ облучению специфические точки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. – М.: "Радио и связь", 1991. С.168.
2. Бецкий О.В. 1991. Механизмы биологических эффектов взаимодействия мм-волн с живыми организмами. – В сб докл. конф. "Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине". Т.3. С.521. (Далее сб.1).
3. Веткин А.Н. Применение миллиметровых волн в клинике. 1991. Сб.1. Т.1. С.7.
4. Алисов А.П., Цибуляк В.Н., Алисова О.В.., Шатрова В.П., Балуев Э.П., Чемисова Г.Г., Зима И.П., Прокофьева Л.С. КВЧ терапия в комплексном лечении гастродуоденальных язв. 1991. Сб.1. Т.1. С.147.
5. Хижняк Ю.И. Первичная рецепция миллиметровых волн. 1991. Сб.1. Т.3. С.560.
6. Хижняк Е.П., Бецкий О.В., Воронков В.Н., Тяжелов В.В., Яременко Ю.Г. О роли пространственного распределения поглощения ЭМИ в формировании биоэффектов при КВЧ облучении. 1991. Сб.1. Т.3. С.630.
7. Алексеев С.И., Кочеткова Н.В., Большаков М.А., Кузнецов А.Н., Бецкий О.В. Влияние МИ КВЧ на мембраны нейронов. 1991. Сб.1. Т.2. С.403.
8. Бонгард М.М. Проблемы узнавания. – М.: Наука, 1967.
9. Карп В.П. Технология разработки модельной системы математическо-

го обеспечения принятия решений в медицине. – В сб.: Вестник ВОИВТ. 1991. Вып.1. С.73–81.

10. Кулик П.Е., Карп В.П., Таксар И.М. и др. использование электронных вычислительных машин для дифференциальной лиагностики. – В сб.: Вычислительная техника в физиологии и медицине. – М.: Наука, 1968. С.43–48.
11. Карп В.П., Фарбер М.Ф., Дмитриева Н.В. Принятие решений, основанных на МПК, в задаче изучения фармакологического действия лекарств рецепторного типа. Вычислительная математика и математическая физика. 1987. N 11. С.1744–1747.
12. Кунин П.Е., Карп В.П. Метод направленного обучения в переборной схеме Бонгарда и онкологическая диагностика. – В кн.: Моделирование обучения и поведения. – М.: Наука, 1975. С.3.
13. Willis W.D., Coggeshall R.E. Sensory mechanisms of the spinal cord. – New York and London: Plenum Press, 1978. 485 p.
14. The spinal cord. – New York and Tokyo: Igaku-Shoin, 1983. PP.93–137, 471–493.
15. Треулин С.Ж. Спинномозговые механизмы температурной чувствительности кожи. – Алма-Ата: Наука Каз.ССР, 1984.
16. Blumenkopf B. Neurochemistry of the dorsal horn. Applied Neurophysiology. 1988. V.51. N 2–5. P.89–103.
17. Hugnes J.T. The new neuroanatomy of the spinal cord. paraplegia. 1989. V.27. N 2. P.90–98.
18. Василенко Д.А., Костюк П.Г. Межсегментарные нейронные системы спинного мозга. – Киев: Наукова думка, 1983. 206 с.
19. Родштат И.В. "Крупные суставы как оптимальные рефлексогенные зоны для лечебного воздействия КВЧ терапии". 1991. Сб.1. Т.1. С.287.

Физический институт
им.П.Н.Лебедева

Поступила в редакцию
31 мая 1993 г.

ON THE AUTODINAMIC SYSTEM AND ITS ROLE IN THE PUNCTURE EHF THERAPY

D.S.Chernavskii, V.P.Karp, I.V.Rodshtat

The concern of the autodiagnostic system (ADS) is formulated. The therapeutical effect of the puncture EHF irradiation is considered as the result ef the correction of ADS. Its structure and the functions are considered from the point of vew recognition theory, neurocomputing, and the modern neurophysiology. The nesessary and sufficion conditions which ADS should fulfill are formulated.

It is shown that the Rexed's plates which are the pert of central neurosistem disposed in the gray matter of the spinal brain correspond to the presented theoretical conditions.

The mechanism of the functioning of the Rexed's plates as a whole (as ADS) and every plete separately (as especial neuroprocessor) is considered taking in to account the modern biochemical and morphological data.

The possible defects as well methodes of its corrections by means the signals which appear in the biological active point's due to EHF irradiation are considered.

УДК 612.014.424.5

ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ МЕДИЦИНЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ С ИЗЛУЧЕНИЯМИ КРАЙНЕ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ

М.Б.Голант

В докладе (статье) изложены физические законы медицины и биологии, определяющие предельно возможный темп гармонического (то есть обеспечивающего взаимосогласованность функционирования различных органов и систем) восстановления живых организмов и наибольший объем такого восстановления. Эти законы являются специфическими для медицины и биологии, аналогами первого и второго законов термодинамики.

1. ЗНАЧЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ КРАЙНЕ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ (КВЧ) В ЭКОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ

В настоящее время во всем мире имеет место прогрессивное ухудшение экологической обстановки. Оно связано с ростом населения, увеличением объема производства и количества потребляемой энергии. Средства, затрачиваемые на сохранение (известными ныне способами) оптимальных для поддержания благоприятных для животного мира условий обитания, недостаточны. Непрерывно усиливается радиационный фон, загрязнение среды обитания токсичными отходами производства, вырубаются леса и т.д. В этих условиях нельзя считать неожиданностью возрождение и прогрессивный рост тяжелый инфекционных заболеваний, которые еще недавно считались окончательно побежденными — чума, холера, туберкулез, сифилис и др. — причем не только в отсталых, но и в экономически наиболее развитых и благополучных странах. Таким образом, важность решения экологических проблем приобрела первостепенное значение и, вероятно, решение проблем медицины следует в новых условиях рассматривать как один из аспектов решения общей экологической проблемы: излечение человека в экологически неблагополучной обстановке не может быть ни прочным, ни долговременным.

2. РОЛЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СОБСТВЕННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА

Существует ли выход из описанной выше, неблагоприятной для продолжения жизни ситуации?

Такой выход применительно к задачам медицины рассматривался и обосновывался нами ранее в ряде работ, прежде всего в [1]. В этой работе было показано, что такая сложная система, как человеческий организм, включающая 10^{15} клеток, органов и систем, функционирующих взаимосвязанно, взаимосогласованно и в то же время в той или иной степени автономно, не может быть достаточно полно смоделирована мозгом (включающим всего 10^9 клеток) даже при использовании любых технических средств, облегчающих его работу. Поэтому никакие искусственно создаваемые лечебные средства не обладают достаточной эффективностью для того, чтобы равноценно подменить работу собственной управляющей системы организма, обеспечивающей поддержание и восстановление гомеостаза. Последняя же включает в себя не только мозг, но и управляющие системы всех входящих в организм органов и клеток.

Поэтому существует лишь один единственный путь достаточно полноценного восстановления организма и поддержания его гомеостаза: восстановление собственной системы организма пациента, управляющей в здоровом организме этими процессами. При этом в [1, 2] было показано, что наиболее эффективным инструментом для организации такого восстановления является использование полей КВЧ диапазона (30–300 ГГц). Использование этих полей позволяет осуществить гармоничное * восстановление организма, причем степень восстановления оказывается соответствующей его резервным возможностям.**

Принимая во внимание, что гармоничное восстановление организма под воздействием КВЧ полей практически всегда приводит к единовременному устранению многих нарушений, нередко называют такое восстановление панацейным.

---

*Гармоничным называется восстановление всех систем организма в такой степени, которая соответствует оптимальной реакции этого организма при имеющихся резервных возможностях на внешнее дестабилизирующие воздействия в реальных условиях существования

**Под резервными возможностями живого организма понимают превышение энергетическими и материальными ресурсами организма (которые могут быть мобилизованы для его восстановления) в данный период его существования над минимально необходимыми для функционирования без прогрессирующей деградации.

3. НЕКОТОРЫЕ ВАЖНЕЙШИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ МЕДИЦИНЫ, СВЯЗАННЫЕ С КВЧ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ, И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В МЕДИЦИНСКОЙ ПРАКТИКЕ

Выше было обращено внимание на то, что оптимизация лечебных процессов требует восстановления собственной системы организма, управляющей процессами восстановления и поддержания гомеостаза. Но даже немногие упомянутые характеристики этих систем управления говорят об их исключительной сложности. Поэтому уверенная организация процесса восстановления систем не может опираться на одну лишь эмпирию. Необходимо знание и понимание некоторых основных законов, определяющих и ограничивающих возможности информационных систем живых организмов. Это относится и к живой природе в целом (к проблемам медицины). Однако, поскольку на сегодняшний день достаточно полные данные имеются лишь в части медицины, постараемся в настоящем кратком сообщении иллюстрировать сущность проблемы, опираясь только на физические законы медицины [3].

а) Закон предельного темпа гармоничного восстановления организма

Хорошо известно, что длительность процесса самовосстановления живого организма после нарушений, приведших к его отклонению от нормального состояния, зависит от многих причин: характера нарушений, состояния организма, окружающих условий и др. Однако в случае сколько-нибудь серьезных нарушений эта длительность не может стать пренебрежимо малой.

С чем это связано?

Восстановительные процессы в организме определяют формированием на клеточных мембранах белковых структур и генерацией колебаний в КВЧ диапазоне [2], то есть протеканием процессов трансформации энергии и переноса материи — заведомо инерционными. Ограниченность резервных возможностей организма (см.выше) не позволяет ускорить эти процессы выше определенного предела. Это самоочевидно. Но, на первый взгляд, может показаться, что данное ограничение не имеет отношения к внешним КВЧ воздействиям: извне можно ввести в организм любое количество энергии. Однако, как показано в [2, 3], использование в восстановительных процессах поступающей извне энергии КВЧ диапазона могут осуществляться только одновременно с использованием энергии, генерируемой клетками самого организма; без этого энергия внешних сигналов не может быть преобразована в тот спектр, который необходим для восстановления. Подать же извне колебания, обладающие нужными для

восстановления организма исключительно сложными спектральными характеристиками невозможно. В результате в процессах восстановления может полезно использоваться лишь энергия внешних излучений, по порядку величины близкая к энергии КВЧ колебаний, генерируемых самим организмом.

Поэтому принципиальная ограниченность темпа восстановления, характеризующая процессы самовосстановления организма, сохраняется и в случае использования при восстановлении сигналов от внешних источников излучения. Попытка ускорить процесс восстановления за счет увеличения количества вводимой извне в организм КВЧ энергии приводит только к прекращению восстановления и к неизбежному длительному перерыву в КВЧ лечебных процедурах, пока вновь в организме не создадутся условия, обеспечивающие возможность продолжения лечебных КВЧ процедур.

По своему физическому смыслу изложенный закон является медицинским аналогом первого закона термодинамики.

Конечно, изложенное ограничение не умаляет огромной роли, которую может играть (и играет в настоящее время) использование внешних КВЧ сигналов для ускорения восстановления организма.

б) Закон ограниченного объема гармонического восстановления организма

В ходе функционирования живой организм постоянно отклоняется от нормы, но каждый раз его система управления процессами поддержания и восстановления гомеостаза почти полностью восстанавливает исходное состояние, но только "почти" полностью. В [4] и других работах автора показано, как вследствие наличия малых пластических деформаций и других необратимых нарушений структуры клеток резервные возможности организма постепенно сокращаются. В результате гармоничное восстановление организма в полном объеме становится невозможным. В силу тех же (разобранных выше) причин, которые не позволяют использовать поступающие извне в организм КВЧ энергию для неограниченного наращивания темпа восстановления, эта энергия не может быть использована и для полной компенсации снижения резервных возможностей из-за необратимых изменений структуры клеток и состава сред. Иными словами, медленная деградация живых организмов неизбежна.

Поскольку указанная постепенная деградация связана с активной деятельностью, снижение ее темпа требует снижения объема активной деятельности. В частности, интенсивность и объем активной деятельности с возрастом должны сокращаться. Очевидно, следя за режимами гармонического восстановления пациентов, врач должен рекомендовать им и оптимальный темп жизни.

Впрочем, гармоничное восстановление управляющей системы организма, ответственной за поддержание гомеостаза, позволяет по-видимому, в принципе обеспечить сохранение нормального функционирования (только в суженном объеме) без омрачающих жизнь тяжелых болезней.

По своему физическому смыслу изложенный закон является медицинским аналогом второго закона термодинамики.

Сознательное его применение должно содействовать оптимизации жизнедеятельности в период, когда возможности организма постепенно сокращаются.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем докладе был вкратце затронут ряд аспектов решения непрерывно обостряющейся эколого–медицинской проблемы. Важнейшими из них являются необходимость использования для решения указанной проблемы принципов и методов КВЧ медицины и КВЧ экологии, то есть информационного подхода к этой проблеме. Была особо подчеркнута необходимость использования при проработке проблемы строгих физических законов КВЧ медицины и КВЧ экологии.

Конечно, в силу краткости доклада в нем не делается попыток осветить практическую сторону решения проблемы, решение которой требует много более полного освещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вопросы использования электромагнитных излучений малой мощности крайне высоких частот (миллиметровых волн) в медицине / Под ред. акад. Девяткова Н.Д.. – Ижевск: "Удмуртия", 1991. 212 с.
2. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. – М.: Радио и связь, 1991. 168 с.
3. Голант М.Б., Мудрик Д.Г., Реброва Т.Б. Физические законы медицины, связанные с физическими законами сохранения энергии и ее преобразования из неупорядоченных форм в упорядоченные. Роль КВЧ волн в решении проблем, определяемых этими законами // Сборник докладов международного симпозиума "Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине", Москва, 3-6 октября 1991 г. С.539-544.
4. Голант М.Б., Савостьянова Н.А. Радиоэлектронное обоснование возможности использования КВЧ генераторов, работающих на одной и той же частоте, для лечения многих заболеваний // Электронная тех-

ника. Сер. Электроника СВЧ. 1989. Вып.6. С.48-53.

Государственное научно-производственное предприятие "Исток"

Поступила в редакцию 28 июля 1993 г.

PHYSICAL LAWS OF MEDICINE AND THEIR USAGE IN THE REALIZATION OF THE LIVE ORGANIZMS INTERACTION WITH THE THE VERY HIGH FREQUENCIES RADIATION

M.B.Golant

The paper considers the physical laws in medicine and biology which determine the limiting rate of harmonic regeneration (that is therate providing for the interconsistent functioning of various organs and system) in living organism and the maximum amount of such regeneration. These laws which are specific for medicine and biology are analogous to the first and the second laws of thermodynamics.

УДК 577.35:537

ПРИНЦИП ДОМИНАНТЫ А.А.УХТОМСКОГО В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МОЗГА ПРИ ВОСПРИЯТИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Ю.А.Холодов

При слабом болевом ощущении человеком различных электромагнитных полей, воздействующих на руку, важную роль играет предварительная инструкция испытуемому. Активное внимание к возможному влиянию усиливает то состояние мозга, которое можно назвать доминантой осторожности и которое возникает спонтанно, при пустой пробе или при воздействии электромагнитных полей. Среди физиологических механизмов влияния ЭПМ на организм обсуждается радарный принцип работы мозга.

В начале века известный русский физиолог В.Я.Данилевский [1] отметил важность проблемы "влияния электричества на расстоянии "для общей биологии, для гигиены и для терапии. В тридцатых годах электромагнитная биология интересовалась в основном полями УВЧ метрового диапазона. В пятидесятые годы увеличился интерес к биологическому действию сантиметровых, а позже и миллиметровых волн. В наши дни весь диапазон электромагнитных полей (ЭМП), начиная от постоянных электрических и магнитных полей и кончая видимым участком спектра, объединен названием неионизирующие излучения и активно изучается представителями медико–биологических и физико–технических дисциплин в разных странах мира [2–5].

Междисциплинарный характер исследований биологических эффектов ЭПМ требует тесного общения различных специалистов для понимания возникающих проблем. Задача настоящего сообщения заключается в изложении некоторых аспектов нейрофизиологических проблем, связанных с активностью самой центральной нервной системы при восприятии ЭМП.

В качестве модельного эксперимента мы использовали метод сенсорной индикации ЭМП. Локальное воздействие наносили на левую руку испытуемого (иногда на область между большим и указательным пальцами) сразу после предупреждающего звукового сигнала. В случайном порядке (в автоматизированном эксперименте это определялось программой ЭВМ) включали генератор ЭМП или давали пустую пробу (ПП) на

протяжении не более одной минуты. При возникновении ощущения испытуемый правой рукой нажимал кнопку, отключая тем самым генератор (если тот был включен) и отмечая длительность латентного периода. После этого испытуемый сообщал о модальности возникшего ощущения и о его локализации (в некоторых случаях учитывали субъективную силу ощущения и его длительность).

Опыты проводили в звукозаглушенной затемненной камере, повторяя пробы через 1–3 минуты. За опыт давали 15–20 проб. При воздействии могла возникать сенсорная реакция (СР) на ЭМП или отсутствовать отклик (-). Отношение числа СР к числу воздействий считали как прочность СР. При ПП могла возникать ложная тревога (ЛТ) или отсутствовать отклик. Отношение числа ЛТ к числу ПП определяли как прочность ЛТ. При статистической обработке вычисляли достоверность разницы между числом СР и ЛТ по критерию хи-квадрат.

Учитывая четыре варианта поведения испытуемого после предупреждающего сигнала, мы должны признать, что в ЦНС предсуществует состояние, похожее на состояние доминанты, открытое известным физиологом А.А.Ухтомским [6]. Поэтому мы вводим термин "доминанты осторожности" (ДО), которая возникает в мозге и может проявляться у испытуемого в виде предболевого ощущения (покалывание, давление, парэстезия и т.п.), возникающего спонтанно, после предупреждающего сигнала или при действии слабого раздражителя.

В последнем случае реакция возникает в среднем через 30 с и длится около 10 с. Эти цифры получены в экспериментах на сотнях испытуемых при воздействии различных ЭМП, начиная от постоянного магнитного поля (МП) до видимого участка спектра. Раньше мы приписывали эти реакции гипотетической системе медленного реагирования. Накопление экспериментального материала позволило прийти к заключению, что такой системой является ноцицептивная система. Она может быть и медленной, и по модальности ощущений проходит, и по наличию длительного последствия соответствует полученным фактам. Одно смущало: в теоретическом арсенале психофизики "не нашлось места для феномена ложной тревоги (положительного ответа в пустой пробе, т.е. пробе, где раздражитель не подавался). Теоретики игнорировали этот феномен, а экспериментаторы пытались избавиться от него ужесточением инструкций и тщательным отбором испытуемых" [7].

В цитате подчеркивается важность инструкции. Оказывается, если не инструктировать испытуемого указанием на то, что после щелчка на протяжении минуты может быть, а может и не быть воздействия, и тайно от него давать такое же воздействие ЭМП, то ни реакции, ни ЛТ не возникнет. Это показано, и в наших опытах и в исследованиях известного психолога А.Н.Леонтьева [8], который воздействовал на руку светом. Следовательно, инструкция является важным условием и восприятия ЭМП, и

появления ЛТ.

А что такое инструкция для испытуемого? Это активное внимание, появление мотивации и, может быть, возникновение доминанты. Отсюда вытекает, что главным событием является не применяемый раздражитель (например, ЭМП), а возникшая доминанта, которая в значительной мере определяется индивидуальными особенностями испытуемого. У одного из них ощущения возникали не в левой ладони, куда адресовалось ЭМП, а в правом плече, которое было сломано полгода назад. Некоторые авторы [9] даже утверждали, что сенсорная реакция на ЭМП (речь идет о миллиметровом излучении) возникала в области больного органа, а у здорового испытуемого они такой реакции не наблюдали. Иными словами, только при наличии как бы двойной доминанты: инструктивной и болевой, — можно обнаружить сенсорную реакцию на ЭМП.

Допущение существования спонтанной субсенсорной ДО, которая усиливается инструкцией, в многочисленных опытах с человеком, может объяснить некоторые факты, которые заставляли считать ЭМП странным раздражителем. При этом следует помнить, что доминанта осторожности является слабым выражением болевой доминанты, которая при увеличении силы или длительности воздействия может превратиться в стресс.

Важную роль в формировании этих адаптационных реакций организма играют регуляторные пептиды. Предполагается, "что обоснование и развитие таких представлений о модуляторной и коммуникационной роли нейропептидов служит молекулярным базисом сформулированной еще в 20-е годы теории А.А.Ухтомского о доминанте [10]. ДО есть болевая доминанта, что определяет ее биологический смысл. Эта доминанта у взрослого организма существует всегда, реализуется у человека чаще на подсознательном уровне и проникает в чувственную сферу через болевую модальность.

Объяснительную силу высказанной гипотезы можно описать в нескольких отдельных пунктах:

1. Поскольку подтолкнуло нас к созданию гипотезы о ДО существование ЛТ, то прежде всего отметим, что теперь ЛТ приобретают законность появления, становятся как бы родными детьми ДО.

2. ЭМП выполняют роль посторонних раздражителей. Они не порождают свои специфические реакции в ЦНС, а только будят доминанту через длительный латентный период.

3. А.А.Ухтомский писал "доминанта получается уже через 0,5–1,0 минуту" [6]. В.С.Русинов [11] в своей статье из сборника отмечал: "Угнетение двигательных реакций задних конечностей под влиянием возбуждения глотательного аппарата наступало в среднем секунд через 30 после начала ряда глотательных движений".

Исследуемые нами сенсорные реакции человека и ЭЭГ реакции кролика при воздействии ЭМП также возникали примерно через 30 с, как

доминанты у лягушки или торможение у кошки. Схожесть латентных периодов (не ординарных) может свидетельствовать о сходстве анализируемых реакций.

4. Модальность сенсорных реакций на различные ЭМП (МП, импульсное МП, сантиметровое или миллиметровое излучения, лазерное излучение или экранированное пространство) определяется в большей мере характером доминанты, поскольку первичные физико-химические механизмы биологического действия перечисленных ЭМП весьма различны.

5. Локализация ощущений при воздействии ЭМП не всегда определяется местом приложения, что еще раз свидетельствует об участии ЦНС в формировании сенсорных реакций.

6. Характер реакций слабо зависел от интенсивности ЭМП. Импульсные МП от мкТл до 1 Тл при разнице на 6 порядков вызывали сходные сенсорные реакции, т.к. они только "включали" ДО.

7. Уместно отметить, что в опытах с условными рефлексами у животных ЭМП оказывали преимущественно тормозное действие [2], и это торможение скорее всего было сопряженным.

8. В этих же опытах отмечали увеличение числа МР при действии ЭМП не только в стадию генерализации условного рефлекса. Увеличение числа МР можно объяснить той же ДО, как и появление ЛТ при формировании сенсорных реакций.

9. ЭМП увеличивали также двигательную активность животных при общем воздействии, что может осуществляться через механизм ДО.

10. При воздействии ЭМП на голову животного возникало состояние, похожее на поляризационную доминанту [11, 12], с участием глионейрональных элементов.

11. Реакции на ЭМП отличались длительным последействием. Словом, все свойства классической доминанты по Р.А.Павлыгиной [11] налицо.

Перечисленные пункты резко сместили акценты, которые расставляли мы в прежних публикациях [2, 13, 14], настойчиво и детально приписывая все особенности реакций организма биотропным параметрам раздражителя и наделяя ЦНС пассивным свойством отражения. Теперь возникает опасность другой крайности: все объяснять доминантой, не оставляя за ЭМП хоть какой-то самостоятельности. Можно привести пункты, противоречащие этому:

1. Местная анестезия в виде хлорэтила снижала число сенсорных реакций на ЭМП до уровня ЛТ. Следовательно, какая-то часть сенсорных процессов связана с ЭМП.

2. У больных сирингомиэлией, т.е. после нарушения связей ЦНС с кожным анализатором, число сенсорных реакций при воздействии ЭМП не превышает число ЛТ.

3. ИМП с частотой 10 Гц чаще вызывали ощущения, чем с частотой 1 или 100 Гц.

4. Импульсное МП имеет меньший порог для вызова сенсорных реакций в сравнении с синусоидальным МП той же частоты или с постоянным МП. Уже само наличие порога свидетельствует об активной роли ЭМП.

5. Правильная сенсорная реакция на ЭМП сопровождается увеличением когерентности в медленноволновом диапазоне ЭЭГ преимущественно в передних отделах правого полушария испытуемого. ЛТ не имеет таких характеристик.

Следовательно, не все определяется ДО, а она сама обнаруживается не только методом сенсорной индикации. ЭЭГ метод позволяет изучать реакцию на ЭМП и у животных. Однако при одноминутном воздействии ЭМП на конечность кролика изменений в его ЭЭГ мы не обнаружили (как и у неинструктированного испытуемого). В то же время воздействие ЭМП на голову животного приводит к возникновению ЭЭГ реакции синхронизации со средним латентным периодом около 30 с. Можно ли говорить об идентичности реакций организма на ЭМП при периферическом воздействии на человека и при центральном воздействии на животных?

Общее у этих реакций — характер изменений ЭЭГ и длительный латентный период. Скорее всего и периферическое,и центральное воздействие могут усиливать доминантный процесс,и в этом можно видеть их сходство, которое без учета доминанты кажется странным. Особенно такое заключение важно для физиотерапии, когда лечебное действие ЭМП объясняется только воздействием на биологически активные точки. Теперь можно обходиться и без гипотезы об акупунктуре.

Тем не менее прямое воздействие ЭМП на мозг имеет свою специфику. Как указывалось ранее, периферическое воздействие у животных не вызывало ЭЭГ реакции у кролика [15] и не изменяло условнорефлекторной деятельности крыс [16]. Центральное воздействие было эффективным в обоих случаях, вызывая доминанту, похожую на поляризационную [11, 12], создаваемую локальным раздражением мозга слабым постоянным током.

Д.П.Матюшкин писал: "Нервная сигнализация, участвующая в создании доминантного центра, по А.А.Ухтомскому, должна быть не сильной, но достаточно долгой" [17]. "Такое мобилизованное состояние нейрона и системы его синаптических входов (а, возможно, и связанных с ними глиальных клеток) сегодня вряд ли удобно называть просто "местным возбуждением". Однако это стационарное состояние играет именно ту роль, которую отводил местному стационарному возбуждению нейронов А.А.Ухтомский.

О заинтересованности глии в создании доминанты прямо без скобок пишет В.С.Русинов [17]. "Было показано, что основная реакция глии на поляризацию выражалась в увеличении количества сателлитов, прилега-

ющих как к пирамидным, так и к промежуточным нейронам".

В наших работах с М.М.Александровской [18] и с Н.И.Артюхиной [19] отмечалась реакция нейроглии после воздействия ЭМП и крыс, кроликов и кошек. Подобные сдвиги наблюдали и в НС виноградной улитки после воздействия постоянного МП (Браваренко и др. [19]). Участие нейроглии в создании медленноволновой электрической активности мозга животных при действии ЭМП отмечалось в нескольких публикациях с участием А.И.Ротбака [20]. Связи глии со сверхмедленной электрической активностью мозга отмечала В.А.Илюхина [17], которая, анализируя ЭЭГ, писала: "При ритмической фотостимуляции или при пробе на открывание глаз сначала в течение 6–10 с развивается ЭЭГ реакция активации и только затем, спустя 30–60 с, изменяется характер динамики дзета-волн".

Преобладание медленноволновой электрической активности мозга некоторые исследователи связывают с возникновением тормозного процесса. А.А.Ухтомский считал сопряженное торможение необходимым условием доминанты. А ЭМП как раз вызывают медленноволновую активность мозга и преобладание мозговых процессов. Резонно предположить, что действие ЭМП связано с доминантой. Тогда превентивное торможение получает другое толкование.

Другая трудная проблема — увеличение двигательной активности при воздействии ЭМП — также предстает в ином свете. Слабые болевые раздражители должны увеличивать двигательную активность. Наличие ДО должно увеличивать число МР при выработке условных рефлексов не только в стадии генерализации. Наконец, оборонительные условные рефлексы должны быть более чувствительны к ЭМП, нежели пищевые.

И, самое основное. Начинается процесс восприятия не с периферии, как мы привыкли думать, а с ЦНС, с создания ДО (если ее так не было со дня рождения). Можно высказать своеобразную "радарно-усилительную" гипотезу боли. Как луч радара, болевая поисковая система мозга ежеминутно ищет источник боли, и если не находит, то сама себя кусает, чтобы не прекратился этот необходимый для защиты организма поиск.

Оказалось, что такое предположение не было оригинальным в описании деятельности мозга. П.В.Смирнов [21] отмечал: "...я бы выбрал принцип радара, где рефлекс возникает как вторичное отражение поискового луча, встретившегося с целевым объектом..." В.С.Русинов [11] называет это "радарная концепция доминанты".

Однако даже исследователь, не обсуждающий принципа доминанты, но длительно изучающий ноцицептивную систему, пришел недавно к сходным выводам, считая, что "фантомные боли" генерируются самим мозгом, а сенсорные сигналы всего лишь модулируют эти ощущения [22].

Получается, что ЛТ похожи на фантомные боли по происхождению. Следовало бы проверить это предположение по электрографическим пока-

зателям. Радарность в деятельности мозга мы отметили при изучении источников альфа-ритма человека с помощью ЭЭГ и МЭГ. Речь идет о чисто внешнем сходстве вращения источника при формировании альфа веретена [23]. Однако не исключена возможность не только внешнего подобия, но и участия альфа-ритма в формировании ДО. Последующие исследования оценят реальность таких предположений.

Заканчивая, я хочу сказать, что в данном сообщении мы анализировали только начальные этапы реакции организма на ЭМП, ограниченные минутным отрезком. Увеличение длительности воздействия ЭМП приводит к возникновению других форм реакции организма с включением других систем с конечным терапевтическим или патологическим эффектом. Как влияют начальные этапы на последующие — предмет дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилевский В.Я. Исследования над физиологическим действием электричества на расстоянии. - Харьков, 1900–1901. Т.1–2.
2. Холодов Ю.А. Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. - М.: Наука, 1966. 284 с.
3. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. - Наука, 1968. 288 с.
4. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процесса жизнедеятельности. - М.: Радио и связь, 1991. 168 с.
5. XXIII General Asambly of the International Union of Radio Science. Abstract. Prague, 1990.
6. Ухтомский А.А. Доминанта. М.–Л.: Наука, 1966.
7. Бардин К.В. Психофизика и пороговая проблема.// Психол.журн. 1992, Т.13. N 2. С.75-83.
8. Леонтьев А.Н. Проблемы развития психики. - М.: Изд-во МГУ, 1981. 582 с.
9. Андреев Е.А., Белый М.У., Ситько С.П. Реакция организма человека на электромагнитное излучение миллиметрового диапазона. Вестн. АН СССР, 1985. N 1. С.24-33.
10. Гомазков О.А. Функциональная биохимия регуляторных пептидов. - М.: Наука, 1992. 160 с.
11. Доминанта и условный рефлекс. - М.: Наука, 1987. 174 с.
12. Русинов В.С. Доминанта: электрофизиологическое исследование. - М.: Медицина, 1969. 231 с.
13. Холодов Ю.А., Шишло М.А. Электромагнитные поя в нейрофизиологии. - М.: Наука, 1979. 168 с.
14. Холодов Ю.А., Лебедева Н.Н. Реакции нервной системы человека на

электромагнитные поля. – М.: Наука, 1992. 135 с.
15. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. – М.: Наука, 1975. 207 с.
16. Хромова С.В. Модификация миллиметровым излучением поведенческих реакций крыс. Автореф. канд. дисс. – М., 1990. 24 с.
17. Учение А.А.Ухтомского о доминанте и современная нейрофизиология. – Л.: Наука, 1990. 310 с.
18. Александровская М.М., Холодов Ю.А. Возможная роль нейроглии в возникновении биоэлектрической реакции головного мозга на постоянное магнитное поле. Докл. АН СССР. 1966. Т.170. С.482-482.
19. Проблемы электромагнитной нейробиологии. – М.: Наука, 1988. 112 с.
20. Думбадзе С.И., Бобров А.В., Мкртчан В.А., Ройтбак А.И. Влияние постоянного магнитного поля на медленный отрицательный потенциал.// Сообщ. АН Груз. ССР. 1980. Т.98. N 2. С.409-412.
21. Симонов П.В. Эмоциональный мозг. – М.: Наука, 1981. 145 с.
22. Мелзак Р. Фантомные конечности. // В мире науки. 1992. N 6. С.62-69.
23. Kholodov Yu.A., Kozlov A.N., Gorbach A.M. Magnetic fields of biological objects. – M. Nauka Publishers, 1990. 144 p.

Институт высшей нервной деятельности
и нейрофизиологии РАН

Поступила в редакцию
31 мая 1993 г.

THE PRINCIPLE OF A.A.UCHTOMSKY'S DOMINANT IN THE BRAIN ACTIVITIES IN THE ACCEPTANCE OF ELECTROMAGNETIC FIELDS

Yu.A.Kholodov

УДК 551.463

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ КВЧ БИОЭФФЕКТА

А.А.Сериков

Проведен обобщающий теоретический анализ модельных механизмов взаимодействия биологических макромолекул с микроволновым электромагнитным полем. Показано, что эффективному биологическому воздействию нетеплового излучения КВЧ диапазона отвечает добротность дипольно–активных колебаний первичных рецепторов $Q \geq 10^3 - 10^4$, совпадающая по величине с соответствующей характеристикой отдельных пиков в спектре действия излучения. Исходя из анализа модельных уравнений кинетики синтеза и распада молекулярных ассоциатов, предложено объяснение КВЧ биоэффекта, основанное на феномене высокой чувствительности к внешним воздействиям реакций с участием высокомолекулярных агрегатов.

Несмотря на достигнутое на сегодняшний день значительное продвижение в понимании физической природы КВЧ биоэффекта, поиск эффективных молекулярных механизмов данного явления остается актуальной проблемой. Необходимость анализа механизмов рецепции ЭМИ на биомолекулярном уровне определяется тем фактом, что функционирование биомолекул, представляющих нижайший специфически биологический уровень организации материи, можно интерпретировать в терминах механических степеней свободы (молекулярных мод), непосредственно взаимодействующих с ЭМИ.

Эффективность воздействия излучения на молекулярные превращения (элементарные акты реакций, конформационные перестройки и др.) можно охарактеризовать относительным изменением η под их влиянием аррениусовских факторов соответствующих констант скорости. Для слабых воздействий (линейное приближение) величина η представима выражением

$$\eta = \frac{\delta}{k_B T} - \frac{\varepsilon_a}{k_B T}\frac{\vartheta}{T}. \tag{1}$$

Здесь ε_a — энергия активации реакции, T — абсолютная температура, k_B — постоянная Больцмана; параметры δ и ϑ представляют собой поправки к значениям энергии активации и температуры под воздействием рассматриваемого фактора ($\varepsilon_a \to \varepsilon_a + \delta, \quad T \to T + \vartheta$). Первое из слагаемых правой части этого равенства отвечает за динамическое (когерентное) воздействие поля излучения на электрически активные моды молекул, участвующих в реакции, второе слагаемое — характеризует тепловое воздействие ЭМИ.

Регистрируемый при наблюдении КВЧ биоэффекта разогрев обычно не превышает значений $\vartheta \leq 0,2$ К. Таким образом, при $\varepsilon_a/k_BT \sim 10$ "тепловое" слагаемое в (1) можно оценить величиной $\eta_T \sim 10^{-3}$. Такого порядка относительное изменение скорости молекулярных превращений само по себе, по-видимому, недостаточно для физически значимых эффектов, о чем и свидетельствуют контрольные эксперименты, в которых вместо воздействия ЭМИ исследуемые системы подвергались соответствующему подогреву. Трудно ожидать существенного усиления эффекта теплового воздействия ЭМИ и за счет локальности разогрева (вследствие неоднородности распределения центров, поглощающих излучение): ввиду малых размеров областей, характеризующихся значительными флуктуациями концентраций, для этого потребовались бы нереально большие температурные градиенты. На сей счет имеется также ряд прямых экспериментальных свидетельств. Напомним здесь еще, что тепловое воздействие ЭМИ само по себе не может обусловить наблюдаемый во многих экспериментах резонансный характер КВЧ биоэффектов (при отсутствии заметной дисперсии показателя поглощения систем в данной области спектра).

Переходя к оценке "динамического" слагаемого формулы (1), рассмотрим в качестве моды, взаимодействующей с ЭМИ, изолированное колебание миллиметрового диапазона (о наличие таких колебаний в биополимерах свидетельствуют расчеты, выполненные в работах [1, 2]. При подстановке в качестве δ энергии $\varepsilon_r \equiv (E_0^2e^2/2m\omega^2)Q^2$ резонансных вынужденных гармонических колебаний (E_0 — амплитуда напряженности электрической компоненты поля, e — колеблющийся заряд, $Q \equiv \omega/2\lambda$ — добротность колебаний, $\omega \equiv 2\pi\nu$ - циклическая частота, λ - обратное время релаксации осцилляций), полагая $E_0 = 1 в/см$ (что соответствует плотности мощности излучения $W \approx 1$мВт/см^2), приходим к оценке $\eta_d \sim 10^{-13}Q^2$. Таким образом, заметное динамическое воздействие излучения на ход молекулярных превращений (в соответствии с критерием $\eta_d \geq 0,1$) возможно лишь при нереально больших величинах $Q \geq 10^6$, что свидетельствует о несостоятельности представлений, сводящих первичный механизм КВЧ биоэффекта к взаимодействию излучения с отдельно взятыми локальными колебаниями биомолекул.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗМОВ РЕЦЕПЦИИ, УЧИТЫВАЮЩИХ ПОЛИМЕРНУЮ СТРУКТУРУ БИОМОЛЕКУЛ

Для выработки более реалистичных представлений о механизмах первичной рецепции ЭМИ КВЧ в биосистемах был рассмотрен ряд моделей, учитывающих полимерную структуру, а также динамику превращений биомолекул и, в силу этого, отражающих кооперативные эффекты их взаимодействия с излучением.

Так, была предложена модель резонансного механизма взаимодействия биомолекул с ЭМИ КВЧ, использующая идею рассмотрения биополимерной структуры в роли принимающей антенны [3, 4]. Известно, что функционирование целого ряда биологических макромолекул, в частности, ферментов, во многом определяется процессами в их активных центрах. Если предположить, что взаимодействие с излучением приводит к возбуждению дипольно–активных колебаний в мономерных группах цепочки, то можно рассмотреть опосредованное возбуждение с помощью этих колебаний активного центра макромолекулы, способное, к примеру, вызвать в нем конформационный переход. Расчет, основанный на простейшей модели биомолекулы как цепочки мономеров, каждый из которых характеризуется наличием в нем дипольно–активных колебаний, показал, что в наиболее благоприятном случае резонанса возбужденной полем излучения коллективной моды цепочки с локальным колебанием активного центра, непосредственно взаимодействующим с ближайшим к нему мономером (см.рис.1), удовлетворение критерия $\eta_d \geq 0,1$ может быть достигнуто при значениях добротности дипольно–активных молекулярных колебаний $Q \geq 10^4 - 10^5$ (амплитуды напряженности и E_a резонансных полей, необходимых для достижения одинакового динамического эффекта, в случае одиночной моды и при использовании одномерной цепочки-антенны связаны соотношением $Q^{1/4}E_a = E_0$). Еще на порядок эта оценка может быть снижена при использовании в качестве антенны двумерной либо трехмерной "сети" дипольно–активных колебательных мод.

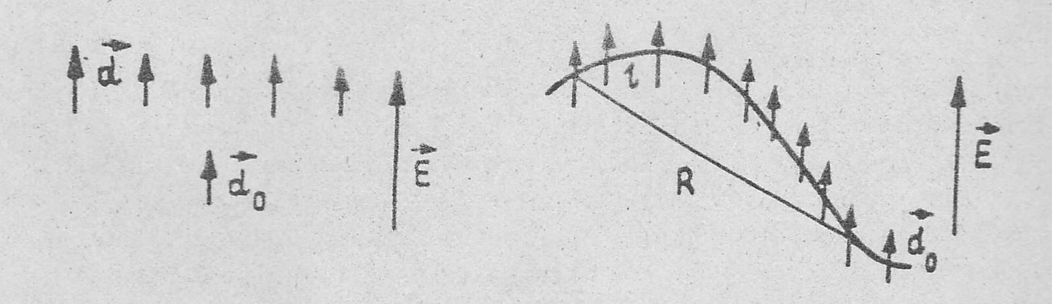


Рис.1, 2:

В качестве следующего примера в работах [3, 4] было исследовано влияние ЭМИ на форму биополимеров. Для получения оценок использовалась динамическая модель биомолекулы с заданной изгибной жесткостью a (см. рис.2). Исходя из выражения для вероятности флуктуаций, скручивающих молекулярную нить, получено выражение для среднего квадрата $\bar{R}^2$

расстояния между удаленными друг от друга на длину $L = Nl$ (N — число звеньев) вдоль цепи мономерами при заданной температуре. Значениям безразмерного параметра $Lk_BT/a \ll 1$ соответствует, при этом, близкая к линейной, форма молекулы ($\bar{R}^2 \sim L^2$), а значениям $Lk_BT/a \gg 1$ — "скрученная" форма или клубок ($\bar{R}^2/L^2 \to 0$). Далее предполагалось, что под действием ЭМИ в мономерах молекулярной цепи могут возбуждаться дипольно–активные осцилляции. Отталкивание соседних диполей приводит к добавочному вкладу $\Delta a = 3d_0^2/l^2$ в жесткость цепи (d_0 — амплитуда дипольного момента индуцированного полем колебания). В качестве критерия существенного влияния ЭМИ на форму нити выступает при этом неравенство $\Delta \geq Lk_BT$, приводящее (при $N \sim 100$) к требованию добротности возбуждаемых полем молекулярных колебаний $Q \geq 10^5$.

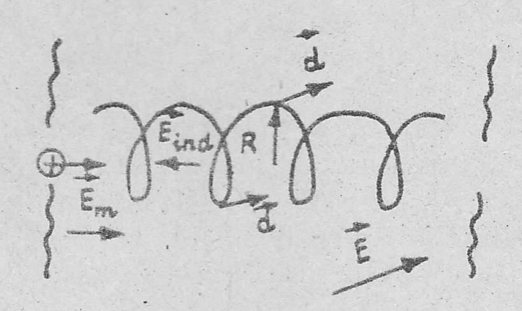


Рис.3:

Наконец, в этом же ряду примеров исследовалось воздействие ЭМИ на трансмембранный зарядовый транспорт. Хорошо известно, что перенос электронов и ионов лежит в основе биоэнергетики, причем соответствующие транспортные системы образованы на базе макромолекул. Действие ЭМИ было рассмотрено в рамках простейшей модели трансмембранного канала, стенки которого образованы спиральным биополимером (белком). Движение заряженных частиц (ионов) через канал происходит под действием мембранной разности потенциалов, определяющей напряженность (постоянного) поля E_m (см.рис.3). Такая модель позволяет оценить возможность управления транспортом заряда через мембрану с помощью слабого микроволнового ЭМИ (при этом трансмембранное поле E_m может быть весьма значительным). Были выяснены условия, при которых индуцированные излучением дипольно–активные осцилляции в звеньях биополимера порождают поле E_{ind}, способное "запереть" канал. По существу, биополимер (ввиду близости его групп к переносимому заряду) играет здесь ту же роль, что и управляющая сетка лампового триода. Расчет

эффекта сводится к сложению полей, действующих на переносимый ион со стороны зарядовых компонент индуцированных диполей. При усреднении по периоду колебаний остается постоянная составляющая напряженности $< E_{\mathrm{ind}} >$, вклад в которую дают все диполи биополимерной спирали. Приравнивая максимальное (по длине канала) значение $< E_{\mathrm{ind}} >_{\max}$ напряженности трансмембранного поля E_m, можно получить выражение для амплитуды электрической составляющей микроволнового ЭМИ, обеспечивающего "запирание" канала: $E_0 \approx \sqrt{2E_m/3e^3}m\omega^2 R^2 Q$. Откуда (при $R \sim 3 - 5$ Å, $E_m \sim 10^5$ в/см) следует оценка требуемой добротности возбуждаемых полем излучения колебаний в звеньях биополимера: $Q \geq 10^5$.

Таким образом, анализ различного рода модельных механизмов первичной рецепции ЭМИ, использующих представление о биомолекулах–мишенях как стабильных полимерных соединениях, позволяет довести оценку требуемой для проявления КВЧ биоэффекта добротности молекулярных колебаний до значения $Q \geq 10^3 - 10^5$. Этот последний результат примечателен в том смысле, что соответствует "добротностям" отдельных пиков в спектрах действия ЭМИ КВЧ, наблюдаемых в ряде экспериментов, выполненных на биосистемах различного уровня организации. Однако, обоснование возможности реализации значений добротности молекулярных колебаний даже такого порядка требует специальных предположений о структуре резонансных центров поглощения биомолекул (см.[3]). К сожалению, прямые экспериментальные указания на этот счет пока что отсутствуют. "Слабым местом" рассмотренных выше моделей усиления эффекта воздействия ЭМИ является также невозможность формирования непосредственно на их основе каскада, позволяющего использовать такое усиление многократно.

ВЛИЯНИЕ ЭМИ НА ДИНАМИКУ МОЛЕКУЛЯРНЫХ АССОЦИАТОВ

В работах [5, 6] был рассмотрен другой класс моделей первичной рецепции ЭМИ биосистемами. В их основе был использован специфический механизм усиления слабых воздействий на высокомолекулярные агрегаты, участвующие в сложной системе химических реакций, как правило, каталитического типа.

Следуя [5, 6], рассмотрим здесь простейшие схемы молекулярной агрегации, в частности, кинетику образования полимерных цепочек из однотипных (направленных) мономерных звеньев. Процессы синтеза и распада полимерных цепочек схематически представлены на рис.4. В более общей постановке задачи речь может идти также об образовании и разрушении связей, ответственных за тот или иной уровень структурной организации полимеров: α–спирали, β–структуры и т.п. Обозначая (тождественные) n-звенные полимеры символами S_n и полагая константы

реакций синтеза k_+ и распада k_- не зависящими от длины полимерных цепочек, схему обратимой реакции можно при этом записать в виде

$$S_n + S_m \underset{k_-}{\overset{k_+}{\rightleftharpoons}} S_{n+m}. \quad (2)$$

Была проанализирована также кинетика сорбции газа молекул S на стабильных макромолекулах (молекулярных образованиях) C в предположении, что на каждой из последних имеется N одинаковых и независимых (отсутствует аллостерический эффект) центров сорбции (см.рис.5).

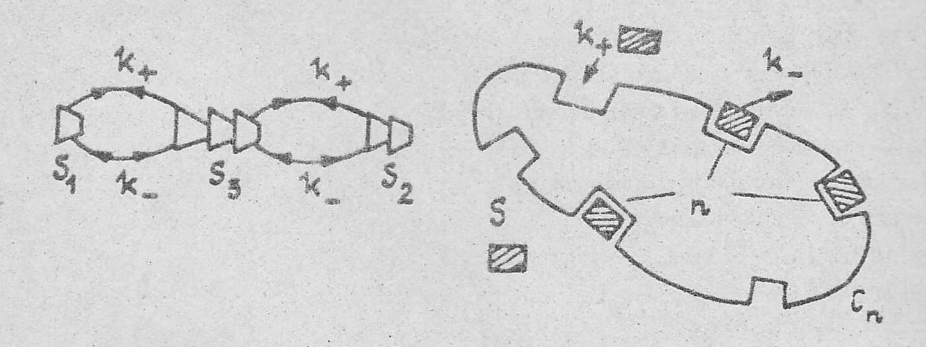


Рис.4, 5:

В грубом приближении данная модель может описывать, например, образование гидратных оболочек на поверхности макромолекул. При обозначении символом $C_n(n = 0, 1, 2, \ldots N)$ макромолекулы, на которой сорбировано n молекул типа S, схема исследуемой реакции записывается в виде

$$S + C_n \underset{k_-}{\overset{k_+}{\rightleftharpoons}} C_{n+1} \quad (3)$$

Наконец, была рассмотрена кинетика ферментативного синтеза полимера, при котором на молекулах фермента C, как на матрице, из сорбирующихся молекул субстрата S путем последовательного синтеза формируются полимерные цепочки P определенной длины (с заданным числом N мономерных звеньев), тут же покидающих матрицу–фермент (см.рис.6). В простейшем варианте данные реакции записываются в виде

$$S + C_n \underset{k_-}{\overset{k_+}{\rightleftharpoons}} C_{n+1}, \qquad S + C_{N-1} \overset{k_+}{\to} P, \quad (4)$$

где C_n — матрица, на которой сорбировано n молекул субстрата, k_+, k_- – константы сорбции и десорбции соответственно. С учетом конечного времени жизни λ^{-1} образующихся полимерных цепочек к схеме (4) следует добавить реакцию молекулярной гибели: $P \overset{\lambda}{\to} O$.

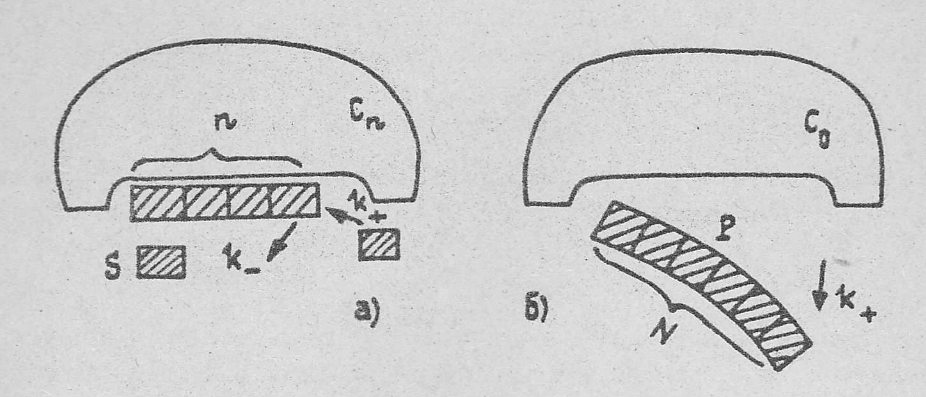


Рис.6:

В соответствии с законом действующих масс реакциям (2–4) можно поставить в соответствие системы уравнений эволюции для концентраций реагентов (некоторые из концентраций при этом поддерживаются постоянными за счет внешних условий). Так, в первом из рассмотренных примеров концентрации S_n n–звенных цепочек удовлетворяют системе нелинейных дифференциальных уравнений

$$\frac{ds_n}{dt} = -2k_+ s_n \sum_{m=1}^{\infty} s_m - (n-1)k_- s_n + k_+ \sum_{m=1}^{n-1} s_m s_{n-m} + 2k_- \sum_{m=1}^{\infty} s_{n+m}. \quad (5)$$

Несмотря на определенные отличия уравнений эволюции в каждом из рассмотренных выше случаев их стационарные решения имеют сходный вид. Так, в первом из примеров стационарные концентрации определяются выражением

$$s_n = s_1(k_+ s_1/k_-)^{n-1} \quad (6)$$

где s_1 — концентрация газа мономеров. При малой полной концентрации вещества $s \equiv \sum_{n=1}^{\infty} n s_n$ (такой, что $k_+ s \ll k_-$) формула (6) может быть переписана в виде

$$s_n \approx k_- \xi^n / k_+, \qquad \xi \equiv k_+ s/k_-. \quad (6a)$$

Аналогично, во втором из примеров стационарное значение концентрации C_n молекул с n "заселенными" центрами сорбции задаются выражениями

$$c_n = C_N^n c_0 \xi^n, \qquad \xi \equiv k_+ s/k_-, \quad (7)$$

где s — концентрация молекулярного газа, c_0 — концентрация макромолекул с полностью "свободными" центрами. При $N\xi \ll 1$ параметр c_0 в (7) можно заменить полной концентрацией макромолекул $c = \sum_{n=0}^{N} c_n =$

$c_0(1+\xi)^N$. В частности, концентрация макромолекул с полностью "заселенными" центрами сорбции приближенно задается формулой

$$c_N \approx c\xi^N. \tag{8}$$

Точно так же, в последнем из рассмотренных примеров концентрация синтезируемых (N–звенных) полимеров может быть записана приближенно в виде

$$p = k_- c\xi^N/\lambda, \qquad \xi \equiv k_+ s/k_-, \tag{9}$$

где s — концентрация молекул субстрата, c — концентрация фермента.

Таким образом, во всех этих примерах выражения (6а, 8, 9) для стационарных концентраций молекулярных агрегатов, образованных из N субединиц, пропорциональны N-й степени величины $\xi \equiv k_+ s/k_-$, представляющей собой отношение стационарных заселенностей состояний, различие которых заключается в образовании одной дополнительной связи. При тепловом равновесии величина ξ представима в виде

$$\xi = \xi_0 \exp\Big[(\Delta - \mu)/k_B T\Big], \tag{10}$$

где μ — химический потенциал молекул S, $\Delta(>0)$ — абсолютное значение энергии связи. Как отмечалось выше, влияние ЭМИ на ход реакций образования и разрыва химических связей может иметь динамический характер, что в рассматриваемом случае отвечает изменению параметров Δ либо μ (при наличии соответствующим образом локализованных электрически активных в рассматриваемом частотном диапазоне колебательных мод) на величину δ ($|\delta \; \le \varepsilon_r$). Тепловое влияние сводится к соответствующему повышению температуры. Относительное изменение величины ξ под действием слабого ЭМИ при этом представимо выражением, подобным (1). Что же касается концентрации синтезируемых молекулярных агрегатов, то согласно полученным ранее выражениям относительное ее изменение будет характеризоваться фактором N. Так, например, исходя из (9), получим

$$\eta_P \equiv \frac{\tilde{p} - p}{p} \approx N\eta_\xi, \tag{11}$$

где η_ξ — относительное изменение величины (10). Таким образом, при вполне реалистичных для биомолекулярных образований значениях $N \sim 10^2 - 10^3$ на соответствующее число (2–3) порядков увеличиваются относительные поправки к скорости протекания реакций с участием рассматриваемых биополимеров, например, реакции синтеза вещества с полимером P в роли фермента: $A + P \xrightarrow{k} P + B$.

В рамках предлагаемой концепции механизма усиления, обуславливающего возможность заметного влияния слабых полей на протекание реакций с участием нестабильных многочастичных (высокомолекулярных)

агрегатов, могут быть, в частности, интерпретированы данные экспериментов, в которых отмечена высокая чувствительность к ЭМИ КВЧ реакционной способности частично гидратированных белков. Данная трактовка хорошо согласуется с представлениями о молекулах воды как первичных мишенях при воздействии излучения на биосистемы (см.[7]). Основываясь на представлении о квазистабильных молекулярных образованиях, участвующих в переносе окислительно-восстановительных эквивалентов через мембраны эритроцитов, в работах [5, 6] проведена детальная качественная и количественная интерпретация экспериментальных результатов [8] по исследованию воздействия СВЧ-излучения на восстановление феррицианида в растворе, содержащем клетки эритроцитов.

Важной особенностью рассмотренного механизма увеличения эффективности внешних воздействий в системах цепных реакций (характерных для биохимических процессов) является возможность формирования на его основе каскада из двух, трех и т.д. "усилителей". Такого рода каскад формируется, например, последовательностью ферментативных реакций синтеза, при которой продукты реакции с участием синтезирующего полимера в качестве фермента служат исходным веществом для создания "новых" полимерных цепочек и т.д. Относительное изменение концентрации продуктов каждой из последующих стадий реакции в присутствии ЭМИ (непосредственно воздействующего на реагенты "первичного" синтеза) при этом дополнительно умножается на фактор, характеризующий количество вновь образованных связей: $\eta_{P'} \approx N' \eta_P \approx N' N \eta_\xi$. Наличие подобного каскада даже небольшого числа (двух, трех) реакций при $N, N', \ldots \sim 10^2 - 10^3$ позволяет, в принципе, достичь значительной эффективности воздействия ЭМИ рассматриваемой интенсивности на протекание реакции, продукты которой могут играть физиологически важную роль.

Во всех рассмотренных выше примерах исследуемые системы химических реакций при заданных значениях констант скорости и ряда фиксированных концентраций реагентов характеризовались единственным устойчивым состоянием равновесия. Воздействие ЭМИ, изменяя те или иные параметры системы, приводило тем самым к соответствующему смещению этого равновесия. Если спустя какое-то время убрать источник излучения, такая система снова возвратится в исходное состояние. В общем случае, однако, система нелинейных уравнений химической кинетики допускает существование нескольких различных устойчивых стационарных решений при одних и тех же значениях управляющих параметров. Более того, число имеющих физический смысл устойчивых решений может быть различным в зависимости от значений параметров (накачки и т.п.). Воздействие ЭМИ на подобные системы может привести к эффекту переключения, при котором после удаления источника излучения система стабилизируется в состоянии, отличном от исходного. Применительно к

методам МРТ здесь можно говорить о переходе под действием излучения от "патологического" к "нормальному" состоянию организма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков С.Н., Косевич А.М. // Мол.биол. 1987. Т.21. N 3. С.797.
2. Чернавский Д.С., Хургин Ю.И., Шноль С.Э. // Мол.биол. 1967. Т.1. N 3. С.419.
3. Сериков А.А., Христофоров Л.Н. Резонансные эффекты воздействия слабых микроволновых полей на биомолекулы // Препринт ИТФ-88-39Р: Киев, 1988. 23 с.
4. Сериков А.А., Христофоров Л.Н. – В кн.: Исследование взаимодействия электромагнитных волн мм и субмм диапазонов с биообъектами. – Киев: Наукова думка, 1989. С.41.
5. Сериков А.А. О механизмах воздействия низкоинтенсивного микроволнового излучения на биомолекулярные превращения // Препринт ИТФ-89-30Р: Киев, 1989. 21 с.
6. Хургин Ю.И., Бецкий О.В., Церевитинова Н.Г., Перепечкина Т.Л. – В кн.: Медико–биологические аспекты мм-излучения. – М.: ИРЭ АН СССР, 1987. С.193.
7. Цыбышев В.П., Штемлер В.М., Кузнецов А.Н. // Биофизика. 1985. Т.30 N 5. С.911.

Институт теоретической физики
АН Украины

Поступила в редакцию
28 июля 1993 г.

MOLECULAR MECHANISMS OF THE EHF BIOEFFECT

A.A.Serikov

Generalised analysis of simulated mechanisms of interaction between biological macromolecules and microwave electromagnetic field is carried out. It is demonstrated that an effective biological action of nonthermal radiation of the EHF range is associated with a quality factor of dipole–active vibrations of the primary receptors being of the order of $10^3 - 10^4$, which is equal to the value of the corresponding characteristic of some peaks in the radiation spectrum of action. Proceeding from the model equations of the kinetics of synthesis and decay of molecular assosiates, the EHF bioeffect explanation is suggested which based upon the phenomenon of extreme sensitivity of reactions characterized by participation of high–molecular aggregates with respect to external action.

УДК 541.144

О МЕХАНИЗМЕ ЧАСТОТНО–ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ КВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ В СПОСОБАХ ИХ УСИЛЕНИЯ

В.А.Шашлов

Приведено доказательство, что в участках биологических мембран, где энерговыделение превышает 10^{-9} Вт/мкм^2, имеет место акустический мазерный эффект и генерируются акустоэлектрические колебания частотой $5\cdot10^{10}$ Гц. Сделан вывод, что именно взаимодействие с этими колебаниями является исходной физической причиной КВЧ биоэффектов. Предложены способы повышения эффективности КВЧ терапии. Рассмотрена роль акусто–электрических мембранных вод в жизненных процессах.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ. Тот факт, что излучение частотой $\nu \sim \sim 5\cdot10^{10}$ Гц с плотностью потока мощности $P_S \sim 1$ мВт/см^2 способно оказывать заметное влияние на биологические процессы, известен уже свыше 20 лет. Полученные за это время результаты обобщены в монографии [1] первооткрывателей этого явления. Несмотря на столько длительный срок исследований и широкое применение метода КВЧ терапии в практической медицине, физическая природа этого явления остается неизвестной. Особенно удивительна частотная избирательность эффектов: они имеют место лишь в отдельных частотных диапазонах, отстоящих друг от друга на $\delta\nu/\nu \sim 10^{-2}$ и внутри этих диапазонов — в узких частотных интервалах, расстояние между которыми доходит до $\delta\nu/\nu \sim 10^{-4}$ и менее. Ни в одном твердом или жидком теле небиологического происхождения не обнаружено ни одного физического явления, которое в КВЧ диапазоне обладало бы столь "изрезанной" частотной характеристикой.

ЦЕЛЬ ДАННОЙ РАБОТЫ — описать механизм первичного акта взаимодействия КВЧ излучения с биологическими тканями, который объяснит все характерные особенности КВЧ биоэффектов, и на основании этого механизма — предложить способы усиления воздействия КВЧ излучения на живые организмы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ. В первой части рассмотрена физическая система, моделирующая отдельные типы биологических мембран, и показано, что в этой системе выполнено условие самовозбуждения акустоэлектрических (АЭ) колебаний с требуемым видом спектра.

Во второй части указаны конкретные примеры мембран, которые могут служить реализацией описанного генератора АЭ колебаний и приведена оценка энергии взаимодействия КВЧ излучения с мембранными модами. В третьей части указаны способы, которые позволяют повысить эффективность воздействия КВЧ излучения на живые организмы. В четвертой части рассмотрено общебиологическое значение мембранных колебательных мод. В заключение указан прикладной аспект полученных результатов и основные выводы.

1. Рассмотрим диэлектрическую пленку $\varepsilon \sim 10$ толщиной $d \sim 10^{-6}$ см (рис.1). С периодом $b \sim d$ в пленку встроены селективные ионные каналы, способные пропускать ионы определенного размера. Проводимость канала $\rho \sim 10^7$ ион/с. В окружающей пленку среде имеются однозарядные ионы требуемого диаметра. Проходя через канал, эти ионы большую часть ($\eta \geq 0,5$) своей энергии $eU \sim 0,1$ эВ (e — элементарный заряд, $U \sim 0,1$ В — разность потенциалов между сторонами пленки) передают субединицам, образующим наиболее узкую часть канала. Частоты колебаний этих субединиц распределены в широкой полосе $\Delta\nu \sim \nu_0/2 \sim 2,5 \cdot 10^{10}$ Гц вблизи частоты $\nu_0 \sim 5 \cdot 10^{10}$ Гц. Акустическое сопротивление пленки по крайней мере на (1–2)% превышает аналогичный параметр в окружающей среде, и примерно таким же является различие акустических сопротивлений штрихов периодической решетки. Скорость гиперзвуковых волн в указанной полосе частот $v \sim 10^5$ см/с, а затухание $\alpha \sim 10^4$ см$^{-1}$. Отмечу, что затухание не может превышать указанной величины, т.к. в противном случае не имел бы места эффект Мандельштама–Бриллюэна [2].

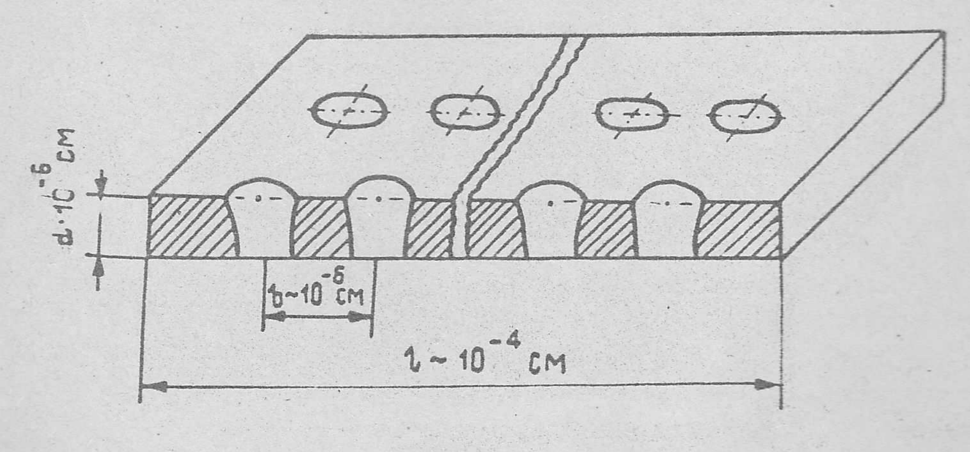


Рис.1:

Проверим, что число фононов определенного сорта, которые будут рождаться в пленке в единицу времени, будет превышать все виды потерь данных фононов в течение этого же отрезка времени.

Прежде всего, заметим, что для некоторых сортов фононов время нахождения в пленке будет определяться временем затухания. Это фононы, которые соответствуют гиперзвуковым волнам, распространяющимся вдоль пленки в волноводном режиме и испытывающим отражение в периодической решетке. Длина этих волн удовлетворяет соотношениям $\lambda \leq 2d$ и $b \sim \lambda/2$, т.е. $\lambda \sim 2 \cdot 10^{-6}$ см. Поскольку коэффициент отражения от единичного штриха $\Gamma \geq 1\%$, то гиперзвуковые волны будут испытывать полное отражение на длине [2] $a \sim \lambda/4\Gamma \leq 5 \cdot 10^{-5}$ см. Поскольку $2a \leq \alpha^{-1}$, то волны возвращаются в исходную точку практически без затухания. Это означает, что на длине $l \sim 2a \sim 10^{-4}$ см будут образовываться стоячие волны, спектр которых $\nu_{n,m} \sim \nu(1 \pm n\delta\nu_n \pm \delta\nu_m m)$, здесь $\nu \sim v/\lambda \sim 5 \cdot 10^{10}$ Гц — частота волн, n, m — натуральные числа, $\delta\nu_n \sim \lambda/2l \sim 10^{-2}$, $\delta\nu_m \sim \frac{1}{4}(\lambda/l)^2 \sim 10^{-4}$. Скорость исчезания таких фононов из участка площадью $S \sim l \times l \sim 10^{-8}$ см^2 будет иметь величину $\gamma \sim \alpha\, v \sim 10^9$ с$^{-1}$.

С другой стороны, скорость рождения фононов определенного сорта можно найти, разделив общее число фононов с частотой порядка ν_0, рождающихся в данном участке в единицу времени, на число различных сортов фононов, которое может существовать в данном участке в полосе частот $\Delta\nu$. Эти величины равны соответственно $M \sim ip\eta eU/h\nu_0 \sim 2,5 \cdot 10^{13}$ с$^{-1}$, $i \sim S/b^2 \sim 10^4$ — число ионных каналов в данном участке пленки, h — постоянная Планка; $\xi \sim \frac{6\pi\nu}{v^2}\Delta\nu S \sim 2,5 \cdot 10^4$, $6\pi\nu/v^2 \sim 10^2$ Гц$^{-1}$ см$^{-2}$ — спектральная и "объемная" плотность числа фононов в двумерном случае. Таким образом, искомая скорость имеет величину $N \sim M/\xi \sim 10^9$ с$^{-1}$.

Итак, для каждого участка пленки, площадь которого не менее 1 мкм^2, выполнено неравенство $N \geq \gamma$, которое и означает выполнение условия самовозбуждения. Действительно, за время $\tau \sim \gamma^{-1} \sim 10^{-9}$ с произвольно выбранный фонон частотой $\nu_{n,m}$ распадается (с вероятностью 1/2), однако за это же время родится, по крайней мере, еще один ($N\tau \geq 1$) точно такой же фонон, имеющий ту же самую частоту, направление распространения и поляризацию. Следовательно, количество фононов данного сорта будет расти со временем, что и отвечает генерации гиперзвуковых волн.

2. Рассмотренная модель достаточно хорошо отражает основные свойства отдельных участков мембран нейронов, в частности, мембран нервных окончаний и так называемых перехватов Ранвье: участков аксонов, через которые проходят потоки ионов Na^+ и K^+ во время распространения нервного импульса. Другим важным примером мембран, в которых может реализоваться описанный эффект — это внутренние мембраны митохондрий. Здесь накачка может осуществляться потоком ионов H^+ или, что более вероятно, — за счет энергии тех стадий окислительно-восстановительного процесса, которые протекают в масштабе времени порядка 100 пс. В принципе, накачкой может служить

любой физико-химический процесс с плотностью энерговыделения, превышающей $\rho e U/b^2 \sim 10^{-9}$ Вт/мкм^2. Что касается необходимой для создания обратной связи периодической решетки, то она, по-видимому, присуща всем мембранам и обусловлена их смектическими свойствами: в натянутых смектических пленках состояние с периодическим изменением ориентации молекул является энергетически самым низким.

Таким образом, описанные колебательные моды имеются в каждой клетке. Оценим энергию взаимодействия этих мод с монохроматическим КВЧ излучением. Величина этой энергии равна $W \sim -\int_0^t(\vec{p}\vec{E})dt$, здесь $\vec{p}$ — дипольный момент колебательной моды, $\vec{E}$ — электрическая компонента излучения, t — время взаимодействия. Для поперечной моды дипольный момент численно равен произведению заряда $q \sim CU \sim 10^{-15}$*Кл* ($C \sim \varepsilon\, \varepsilon_0 S/d \sim 10^{-14}$ ф — емкость занимаемого модой участка, ε_0 — электрическая постоянная) на толщину мембраны: $|\vec{p}| \sim qd \sim 10^{-23}$Кл м. Абсолютная величина электрической компоненты $|\vec{E}| \sim \sqrt{4\pi P_S/c} \sim 1$ в/см, c — скорость света. В результате интегрирования находим:

$$W \sim -2\pi|\vec{p}|\,|\vec{E}|\,cos\Psi\,\delta(\omega_p-\omega_e)\,\cos\varphi,$$

здесь $\delta(\omega_p-\omega_e)$ — дельта-функция от разности круговых частот колебательной моды и КВЧ излучения, Ψ,φ — угол и разность фаз между $\vec{p}$ и $\vec{E}$.

Из полученной формулы видно, что энергия взаимодействия будет отлична от нуля только в том случае, если частота КВЧ излучения будет совпадать с частотой мембранной моды. Тем самым находит объяснение частотная избирательность КВЧ биоэффектов.

Энергия взаимодействия будет достигать максимума, когда кроме $\omega_P = \omega_E$ будут выполнены соотношения $|\cos\Psi| = |\cos\varphi| = 1$, $\cos\Psi = -\cos\varphi$ которые означают, что вектор $\vec{E}$ должен быть коллинеарен вектору $\vec{p}$ и они должны колебаться в противофазе. Численное значение $W_{\max} \sim 2\pi|\vec{p}|\,|\vec{E}| \sim 6\cdot10^{-21}$ Дж. Это в 1,5 раза превышает тепловую энергию колебательной моды ($kT \sim 4\cdot10^{-21}$ Дж, k — постоянная Больцмана, $T \sim 300$ К — температура). Это означает, что несмотря на нетепловую интенсивность используемого в КВЧ биоэффектах излучения, оно увеличивает энергию отдельных колебательных мод на величину, превышающую энергию их теплового движения. Этого вполне достаточно для того, чтобы оказать существенное влияние на процессы, в которых принимают участие данные моды. В частности, скорость ферментативных реакций в пучностях мембранной моды может увеличиться в $\exp(W_{\max}/kT) \sim (4-5)$ раз, т.е. на вполне заметную величину. Таким образом, предлагаемый механизм "проходит" и по энергетике.

3. Понимание механизма КВЧ биоэффектов позволит не только за-

ложить теоретические основы КВЧ терапии, но и разработать способы, которые сделают этот терапевтический метод еще более эффективным. В частности, КВЧ биоэффекты можно усилить, введя частотную и фазовую модуляцию, а также используя циркулярно поляризованное излучение. Во всех этих случаях будет увеличиваться число колебательных мод, для которых энергия взаимодействия будет достигать максимального значения.

Дополнительного усиления эффектов можно добиться, выбрав частоту модуляции и циркуляции вектора поляризации, равной частоте какого-либо мембранного процесса, например, открывания ионного канала или обращения фермента. В этом случае будет иметь место двойной резонанс, благодаря которому будет происходить избирательное усиление именно данного процесса. Фактически появится способ воздействия на отдельные мембранные процессы.

Еще одним возможным способом усиления КВЧ биоэффектов является использование излучения, состоящего из сфазированных спектральных компонент, частоты которых совпадают с частотами мембранных мод. Такое излучение будет синхронизировать мембранные моды, в результате чего будут образовываться короткие мощные импульсы АЭ волн, способные не только ускорять биохимические процессы, но и непосредственно осуществлять структурные изменения в макромолекулах. Действительно, уже при числе синхронизирующих мод равном трем, энергия импульса составит не менее $3^2kT \sim 0,2$ эВ, — этой энергии достаточно для разрыва водородных связей. Этот способ будет наиболее эффективен.

Хорошо известно, что синхронизацию мод можно осуществить, моделируя параметры активной среды с частотами, равными разностным частотам генерируемых мод. В нашем случае такую модуляцию можно осуществить, облучая объект ультразвуковыми волнами с частотами $\nu_n \sim \nu\, \delta\nu_n \sim 5 \cdot 10^8$ Гц и $\nu_m \sim \nu\, \delta\nu_m \sim 5 \cdot 10^6$ Гц. На основании этого может быть разработан новый терапевтический метод, который может оказаться не менее эффективен, чем КВЧ терапия, а для некоторых приложений — более предпочтительным.

4. Факт наличия в мембранах живых организмов АЭ колебательных мод — если он найдет прямое экспериментальное подтверждение — должен иметь важное значение для биофизики в целом. Эти моды могут использоваться в качестве очень емкого носителя информации (10^{10} бит/с), а также для записи информации с чрезвычайно большой плотностью ($1/\lambda^3 \sim 10^{17}$ бит/см^3). Трудно предположить, что природа не воспользовалась столь совершенным носителем информации. Единственным препятствием на этом пути могло бы стать большое затухание АЭ волн, однако, существует, по крайней мере, две причины, которые способны существенно увеличить длину распространения АЭ волн. Вследствии большой величины элементарной ячейки, в фононом спектре биологических

мембран имеется большое количество низколежащих оптических ветвей: при достаточно большой плотности таких ветвей затухание гиперзвука резко уменьшается [2]. Вторая причина заключается в том, что генерация с самого начала может осуществляться в режиме синхронизации мод: требуемая для этого связь между модами может быть обеспечена диффузией составляющих мембраны липидов и белков (характерные частоты перескоков равны, соответственно, $5 \cdot 10^8$ Гц и $5 \cdot 10^6$ Гц). Синхронизированные импульсы способны распространяться вдоль мембран в режиме самоиндуцированной прозрачности.

Каждая из указанных причин способна увеличить длину распространения АЭ волн в несколько десятков раз, поэтому уже одной из них достаточно для того, чтобы АЭ волны могли распространяться на расстояния, сравнимые с масштабом клетки (30 мкм). Это позволяет высказать гипотезу, что в клетках существует акустоэлектрический канал связи. Именно посредством АЭ канала связи может осуществляться согласование режимов работы клеточных органелл и обеспечиваться функционирование клетки как единого целого. С этой точки зрения клеточный цитоскелет выполняет функцию акустических волноводов для АЭ волн. Функционирование АЭ канала связи может начаться уже в процессе клеточной дифференцировки: одновременно с формированием мембранной сети новой клетки в нее могут поступать АЭ импульсы, которые несут информацию о том, какова должна быть "архитектура" и специализация данной клетки. Другими словами, АЭ канал связи может выполнять функции морфогенетического поля. Другая возможная функция — согласование темпов деления соседних клеток: именно с нарушениями этой функции связано опухолевое перерождение клеток. Выделенные пути в мембранной сети организма, вдоль которых действуют обе указанные выше причины увеличения длины распространения АЭ волн, а также имеются участки, в которых происходит усиление и ретрансляция волн, можно отождествить с меридианами, связывающими биологически активные точки.

Информационная система мозга также может работать по принципу АЭ записывающего устройства. Основным носителем информации могут служить АЭ импульсы, генерируемые в перехватах Ранвье. Запись и воспроизведение осуществляются в миелиновых оболочках, между которыми заключены перехваты Ранвье. Миелиновые оболочки можно рассматривать как смектические жидкие кристаллы, обладающие сегнетоэлектрическими свойствами, или как дипольные стекла, имеющие дополнительную степень упорядоченности. Под действием АЭ импульсов домены и диполи могут изменять свою ориентацию, переходя из одного устойчивого состояния в другое, — такой переход и может отвечать записи информации. Данный подход объединяет обе наиболее разработанные в феноменологическом отношении модели памяти — голографическую и модель спинового стекла, и дает этим моделям физическое обоснование.

Описанные примеры не исчерпывают функций, которые могут выполнять АЭ колебательные моды в биологических мембранах. Например, во внутренних мембранах митохондрий эти моды могут служить тем промежуточным носителем энергии, посредством которого энергия окислительно–восстановительных реакций передается субъединицам активного центра, которые непосредственно осуществляют синтез молекул АТФ. Кроме того, АЭ мембранные моды могут участвовать в процессах рецепции, мышечного сокращения и других: возможно, что АЭ колебания биологических мембран являются именно тем физическим фактором, неучет которого не позволял до сих пор понять многие жизненные явления. Всем этим вопросам будет посвящена отдельная работа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Прикладной аспект данной работы также не ограничивается усовершенствованием метода КВЧ терапии. Описанный в первом разделе источник АЭ волн, представляющий собой акустический аналог инжекционного лазера с распределенной обратной связью, может быть положен в основу создания нового класса АЭ устройств, моделирующих соответствующие системы в живых организмах. На этой основе могут быть созданы биосенсоры, микродвигатели..., однако наиболее важными представляются устройства обработки и записи информации. В перспективе возможно создание нейрокомпьютера, который будет работать на тех же физических принципах, что и мозг человека.

ВЫВОДЫ:

1. описан мазерный источник акустоэлектрических колебаний, который может найти важные практические применения;
2. показано, что подобными источниками могут являться отдельные типы биологических мембран;
3. высказана гипотеза о наличии в живых организмах АЭ информационной системы и указаны ее возможные функции;
4. предложена акустоэлектрическая модель информационной системы мозга;
5. предложено уточнение механизма преобразования энергии в митохондриях;
6. дано объяснение физического явления, лежащего в основе КВЧ биоэффектов;
7. предложены способы повышения эффективности КВЧ терапии;
8. отмечена возможность создания нового терапевтического метода: частотно-избирательной ультразвуковой терапии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. – М.: Радио и связь, 1991. С.160.
2. Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику. – М.: Наука, 1984. С.448.

Поступила в редакцию
28 июля 1993 г.

ON THE MECHANISM OF FREQUENCY-SELECTIVE BIOLOGICAL EFFECTS OF THE EHF RADIATION AND THE WAYS TO INCREASE THEM

V.A.Shashlov

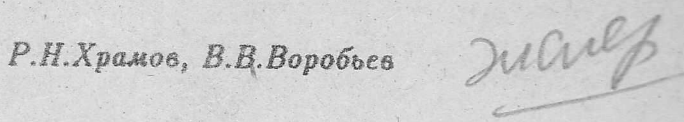
The acoustic maser effect responsible for the generation of acoustoelectric oscillations with the frequency $5 \cdot 10^{10}$ Hz. was proved to appear in the regions of biological membranes with the energy release 10^{-9} W/mcm^2. The energy of the EHF radiation interaction with these oscillations is comparable with that of the thermal motion.

The conclusion was made that this very interaction of EHF radiation with the acoustoelectric oscillating modes of biological membranes forms the basis of frequency-selective bioeffects. Based on this mechanizm, the ways to increase the efficiency of EHF therapy were suggested. The role of membrane oscillating modes in life processes was considered.

УДК 621.822.3:612.826+612.014.42

ИЗМЕНЕНИЯ В СПЕКТРАЛЬНОМ СОСТАВЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА ЖИВОТНЫХ В УСЛОВИЯХ НЕТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НА РЕФЛЕКСОГЕННЫЕ ЗОНЫ

Р.Н.Храмов, В.В.Воробьев



В хронических экспериментах на 9 бодрствующих кроликах исследовали частотные спектры (0–26 Гц) электрограмм (ЭГ) преоптической области гипоталамуса в условиях облучения электромагнитным полем миллиметрового диапазона (55–75 ГГц) нетепловой интенсивности различных зон акупунктуры: I — аурикулярной точки "сердца" ("синь"), II — точек "гипоталамуса" ("цзяо–сунь", TR-20) и III — "долголетия" ("цзу–сань–ли", E-36). Облучение точки I сопровождалось достоверным подавлением в ЭГ ритмов 5 и 16 Гц и усилением 7–8, 12 и 26 Гц. Аналогичное воздействие на точку II вызывало сходные эффекты, но с меньшей выраженностью на частотах 7–8 и 12 Гц. Минимальные изменения в ЭГ наблюдались при облучении точки III. Вероятности достоверных изменений в спектрах ЭГ под воздействием излучения точки I, II и III составляли, соответственно, 31, 21 и 5% ($p < 0,05$, по U-критерию). На основании этих фактов предполагается, что точки акупунктуры I, II более чувствительны к облучению миллиметрового диапазона, чем точка III. В экспериментах на крысах при облучении акупунктурных зон показано наличие индивидуальных особенностей в проявлении эффектов, а также изменение последних после стрессирования животных вплоть до инверсии их знака.

Существенное возрастание в последнее время интереса к проблеме использования миллиметрового излучения (ММИ) низкой интенсивности в биологии и медицине определяется получением новых фактов в этой области, а также появлением реальной возможности коррекции нарушений в организме животных и человека на "информационой", а не энергетической (тепловой) основе [1, 2, 3 и др.]. Важное значение, при этом, приобретают исследования по влиянию подобного воздействия на условнорефлекторную деятельность [4] и в целом на функциональное состояние центральной нервной системы, поскольку известна ее повышенная чувствительности к микроволновому излучению [5]. Использование с этой целью электрофизиологического подхода позволило выявить ряд закономерностей в действии миллиметрового излучения на головной мозг человека и животных [1, 6]. Учитывая особую эффективность этого воздействия на

организм через зоны акупунктуры [1, 2], а также важное значение гипоталамуса в ее механизмах [7, 8], исследование электрической активности некоторых ядер данной структуры в условиях воздействия ММИ на различные точки акупунктуры составляет особый интерес. Кроме того, с целью проверки представления о качественно различном характере действия ММИ на организм в норме и патологии [1, 2, 5], была проведена соответствующая серия экспериментов на крысах с использованием методики иммобилизационно-электроболевого стресса (ИЭС), приводящего к язвам желудочно-кишечного тракта [9] — одной из наиболее массовых нозологий у людей и успешно поддающейся лечению с помощью ММИ.

МЕТОДИКА

Эксперименты проведены на 9 кроликах (вес 3–4 кг) с хронически вживленными монополярными электродами (нихром 0,1 мм) в преоптическую и задне-латеральную области гипоталамуса и на 7 крысах (280–350 г) с электродами в медиальной части среднего гипоталамуса и в соматосенсорной коре. Индифферентный электрод (нержавеющая сталь 0,4 мм) помещали в решетчатую кость носа. Операцию (нембутал, 60 мг/кг, внутримышечно) осуществляли за 7–10 дней до начала опытов. Миниатюрный разъем с подсоединенными к нему электродами фиксировали на черепе норакрилом. Для регистрации ЭКГ (электрокардиограммы) у кроликов (находящихся в эксперименте в условиях полужесткой фиксации) использовали дисковые электроды, закрепленные на ипсилатеральных передней и задней конечностях. В послеоперационный период производили многократное помещение животных в экспериментальную камеру для адаптации к условиям опытов (крысы находились в условиях свободного поведения). Схема опыта включала адаптацию (30 мин), запись фоновых показателей (10 мин) и собственно эксперимент (2 ч). В серии опытов на крысах ИЭС воспроизводили в соответствии с [9].

Запись электрической активности мозга и сердца осуществляли с помощью усилителя биопотенциалов типа УБПФ4-03, самописца Н338-4П и магнитографа М-168. Частоту сердечных сокращений (ЧСС) определяли по числу R-зубцов ЭКГ в 20 секундном интервале с последующим пересчетом на 1 мин. Частотные спектры каждого последовательного (15 с) фрагмента электрограмм (ЭГ) в диапазоне 1–30 Гц, содержащем 18 поддиапазонов дискретизации, получали с помощью модифицированной методики периодограммного анализа на микро-ЭВМ СМ-4. Для удобства представления этих поддиапазонов им присваивали округленные значения соответствующих центральных частот. Статистическая обработка данных и детали методики подробно описаны в [10].

Для формирования миллиметрового излучения использовали высокочастотный генератор типа Г4-142 и генератор сигналов специальной

формы Г6–15. Последний позволял с помощью пилообразной модуляции с частотой 1 кГц свипировать в полосе ±0,5 и 0,2 ГГц (для кроликов и крыс, соответственно) каждую из исследуемых в диапазоне 55–75 ГГц частот облучения, которые предъявлялись в опыте по 5 мин в случайной последовательности. При последующей обработке данных усреднение производилось на соответствующих пятиминутных интервалах. Контроль мощности излучения осуществляли с помощью измерительного моста МЗ–10 с датчиком М5–50. Излучение Г4–142 мощностью около 10 мВт подводили к зонам воздействия с помощью гибкого диэлектрического волновода из полиэтилена (длина — 50 см) сечением $2,2 \times 4,4$ мм, кончик которого располагали на расстоянии 1,5–2 см от кожи у кроликов и 3 см над дорзальной поверхностью головы у крыс.

В качестве зон облучения у кроликов были выбраны три области (унилатерально, слева), содержание точки "синь", "цзу–сань–ли" и "цзяо–сунь", определяемые по топографическим признакам [11], что соответствует аурикулярной точке "сердца", корпоральной — "долголетия" и краниальной — "гипоталамуса" [12]. В первый, третий и пятый дни осуществляли регистрацию анализируемых параметров в условиях имитации экспериментов (без облучения), во второй, четвертый и шестой — с ММИ. В каждой из трех групп животных, включающих 3 кролика, в опыте производили облучение лишь одной из исследуемых зон. В последующем подобную схему реализовывали в каждой группе кроликов для других зон, причем у разных групп последовательность чередования точек облучения различалась. В качестве зон облучения у крыс были выбраны точки TR–20 ("цзяо–сунь"), Е–36 ("цзу–сань–ли"). В последнем случае требовалось установить кончик волновода на расстоянии 1–2 мм от поверхности кожи, что осуществлялось в условиях иммобилизации крыс. По окончании опытов производили контроль локализации электродов в мозге животных.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При нахождении кролика в экспериментальной камере его функциональное состояние может претерпевать существенные изменения (рис.1) от исходного возбуждения (А) до фаз успокоения — дремоты (Б). На это указывают отличия как в частоте сердечных сокращений (213 и 185 уд/мин, соответственно), так и в характере электрической активности гипоталамических ядер (смена ритма 4–5 Гц на высокоамплитудные "сонные" веретена). Подобные переходы могут наблюдаться неоднократно в течение опыта, несмотря на предшествующий период (30 мин) адаптации животных, однако общей тенденцией является их постепенное успокоение.

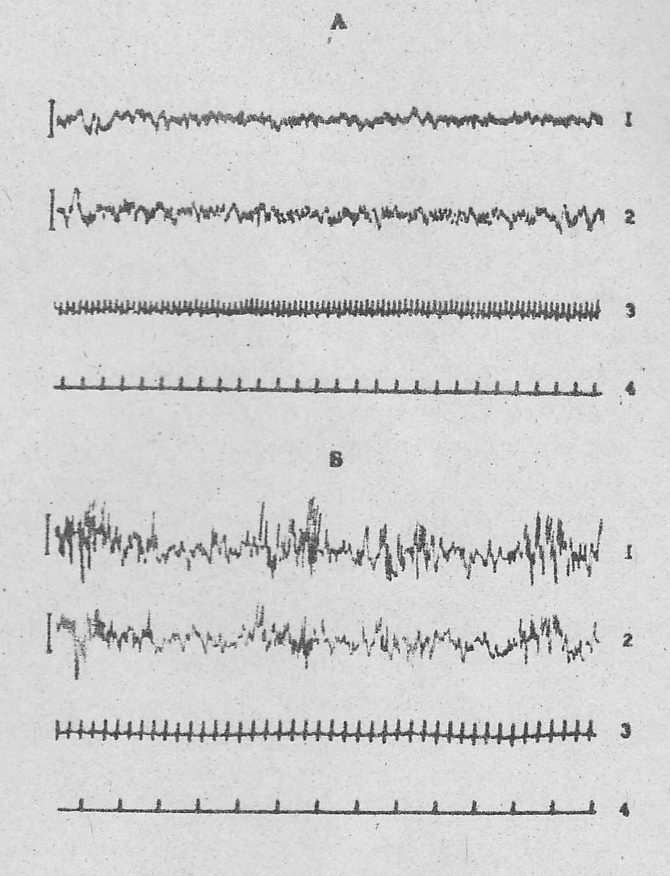


Рис. 1: Фрагменты электрограмм (ЭГ) преоптической (1) и латеральной (2) гипоталамической областей мозга кролика в начальный период (А) и через 63 мин (Б) нахождения животного в экспериментальной камере. 3 — ЭКГ, 4 — отметка времени, с. Калибровка амплитуды ЭГ — 100 мкВ.

В основной серии экспериментов наблюдались выраженные изменения адаптационного характера в сердечной деятельности кроликов (рис.2), несмотря на предшествующий длительный период (5 дней) адаптации. Достоверное снижение ЧСС было обнаружено между первым (контрольным) и вторым (с ММИ) днями опытов, тогда как в последующем данный показатель существенно не изменялся. В электрической активности мозга наблюдалась незначительная вероятность появления достоверных различий в спектрах ЭГ между первыми двумя опытами без ММИ (рис.3, I, 1) и существенно более высокая вероятность отличий между 5-м и 3-м днями

(рис.3, I, 2) с выраженным усилением колебаний 7 Гц и ослаблением — 14 и 26 Гц. Обращает на себя внимание при этом относительно равномерное распределение эффектов на протяжении всего исследуемого периода наблюдения (рис.3, II).

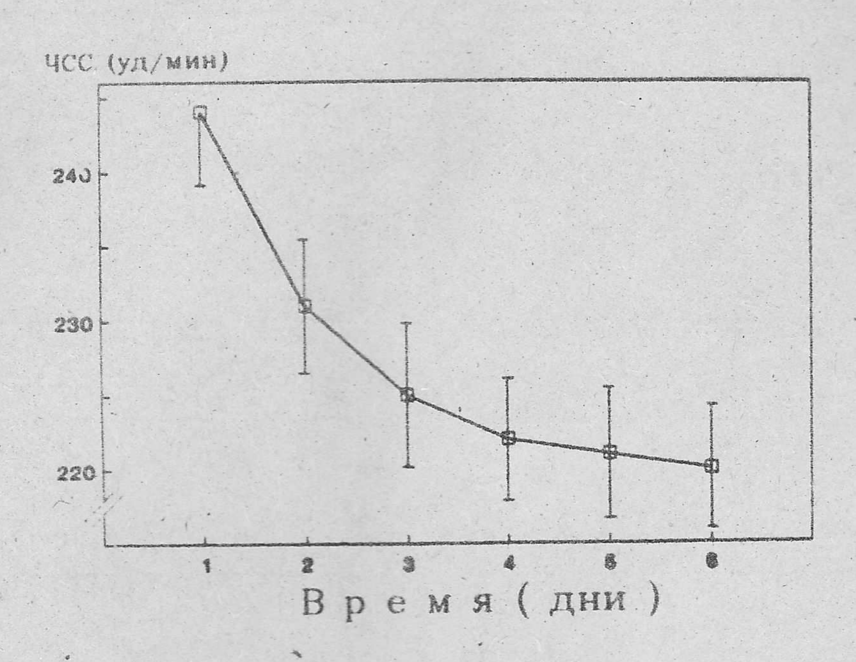


Рис. 2: Изменение средней частоты сердечных сокращений у кроликов в каждом опыте ($N = 147$) в зависимости от дня эксперимента. По оси абсциис — дни: 16 36 5 — без применения миллиметрового излучения; по оси ординат — число сокращений в 1 мин.

Таким образом, достоверное различие в ЧСС у кроликов в первых контрольных опытах (1-й и 3-й дни) не находит существенного отражения в электрической активности гипоталамуса, однако завершение адаптационных перестроек, характеризующееся устойчивым ритмом сердца в 3-й и 5-й дни, сопровождается развитием тормозных процессов в мозге, проявляющихся в ослаблении высокочастотных и усилении более низкочастотных составляющих спектра ЭГ. Поскольку полученные данные указывают на неоднородность экспериментов без ММИ, то в дальнейшем в качестве контроля использовали результаты усреднения всех трех опытов без ММИ. При этом за контрольные принимались значения, полученные именно в те интервалы времени, в которых при облучении использовались соответствующие частоты ММИ.

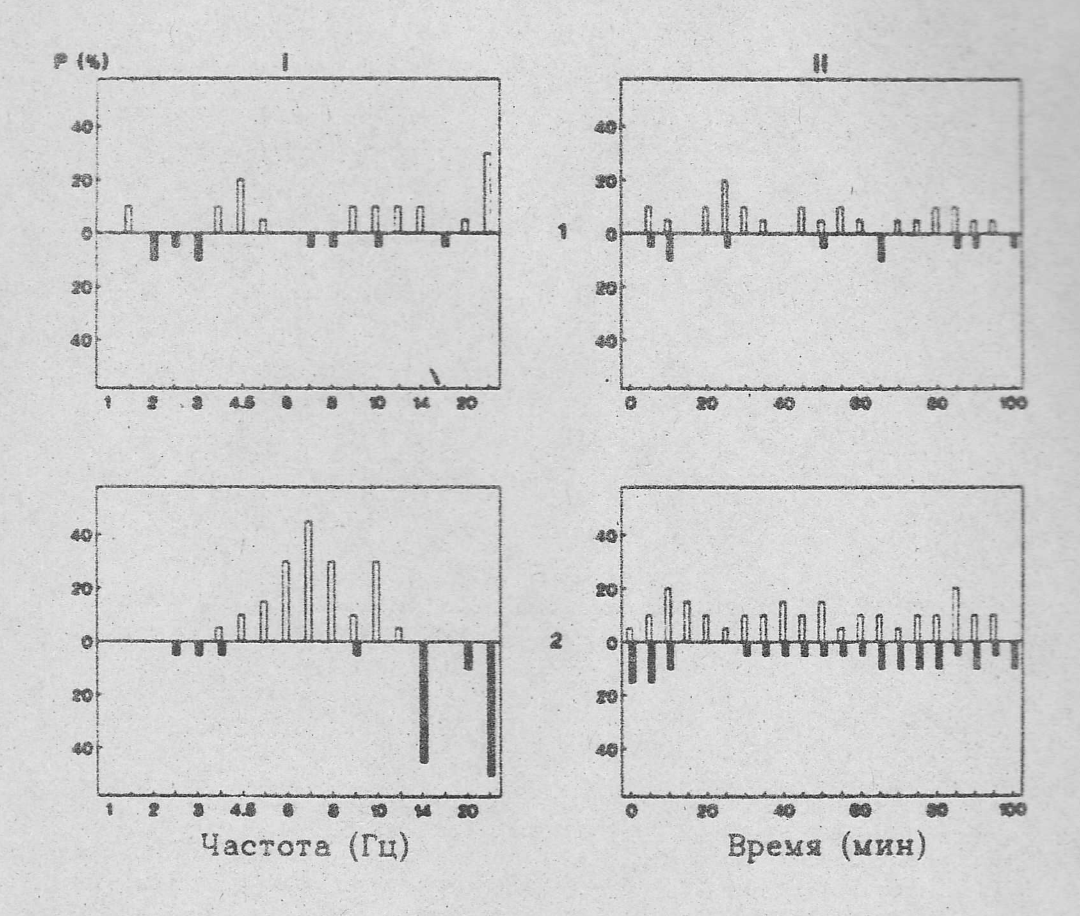
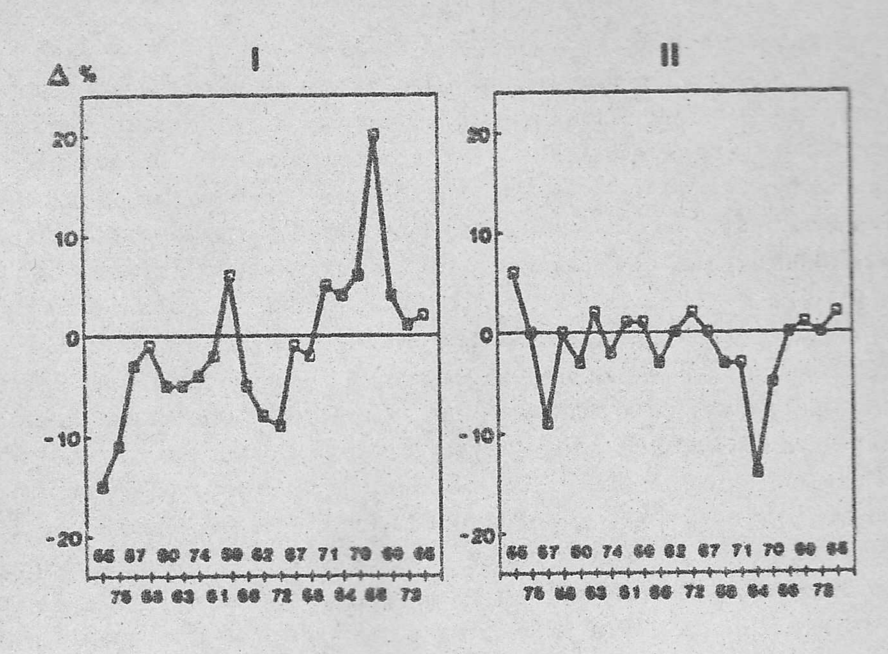
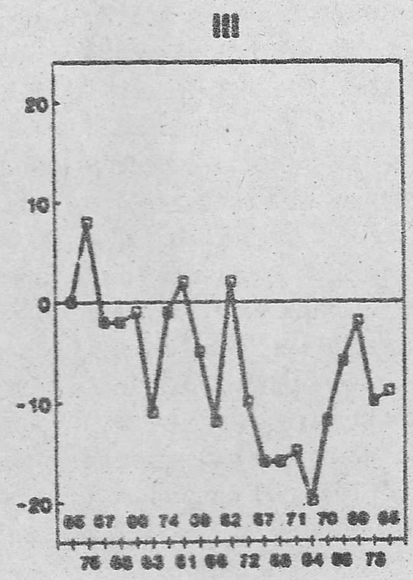


Рис. 3: Изменение вероятности (%) проявления достоверных отличий в усредненных частотных спектрах электрограмм преоптической области гипоталамуса у кроликов ($N = 9$) в опытах без миллиметрового излучения.





Частота ММИ (ГГц)

Рис. 4: Изменение усредненных значений ритма сердца кроликов ($N = 9$) при воздействии миллиметрового излучения на различные акупунктурные точки: "сердца" — (I), "долголетия" — (II) и "гипоталамуса" — (III).

Сопоставление ЧСС кроликов при воздействии ММИ на точки акупунктуры с контрольными значениями (рис.4) не выявило достоверных отличий, однако позволило обнаружить некоторые тенденции, связанные с топографией облучаемых зон. Так, если в первые 10 мин воздействия на акупунктурную точку "сердца" (I) наблюдается урежение ритма сокращений, то к концу опыта, напротив, учащение. Противоположный характер изменений ЧСС выявлен при облучении точки "гипоталамуса" (II), тогда как для точки "долголетия" (II) можно выделить лишь замедление ритма сердца при воздействии ММИ частотой 64 ГГц.

Еще более выраженный эффект на этой частоте наблюдается при воздействии на точку "гипоталамуса". Однако его "резонансный" характер нивелировался наличием аналогичных реакций в течение предшествующих 15 мин (частоты ММИ: 67, 58, 71 ГГц). В связи с этим следует отметить, что облучение аурикулярной точки "сердца" ММИ частотой 56 ГГц (по времени также ближе к окончанию опыта) вызывало противоположное изменение в ЧСС по сравнению с другими зонами — ускорение ритма сердца. Это указывает на значимость пространственно-частотных характеристик воздействия ММИ, а не временных.

Анализ достоверных изменений в частотных спектрах ЭГ преоптической области гипоталамуса под воздействием ММИ (табл.1–3) позволил выявить существенные отличия как в выраженности реакций, так и их качественном характере в зависимости от облучаемой зоны акупунктуры.

Так, эффективность воздействия по этому показателю на точку "сердца" выше, чем на точку "гипоталамуса" и тем более — "долголетия", что выражалось в достоверных отличиях (по U–критерию) вероятностей появления указанных изменений в ЭГ (31, 21 и 5%, соответственно). При этом облучение аурикулярной точки "сердца" (табл.1) сопровождалось преимущественно угнетением ритмов 5 и 16 Гц и усилением 7–8, 12 и 26 Гц, тогда как для точки "долголетия" (табл.2) характерно практически полное отсутствие каких-либо выраженных реакций. Воздействие ММИ на точку "гипоталамуса" (табл.3) приводило к изменениям в электрической активности данного образования мозга качественно сходным с результатами облучения точки "сердца".

Количественные отличия проявлялись в меньшей степени выраженности эффектов на частотах 7–8 и 12 Гц в опытах с точкой "гипоталамуса". Следует отметить, что в настоящем исследовании не удалось выявить какой-либо специфики проявления эффектов в ЭГ заднелатеральной области гипоталамуса по сравнению с его преоптической зоной, в связи с чем соответствующий материал в данной статье не приводится.

В серии экспериментов на крысах обнаружено, что после проведения процедуры иммобилизационно–электроболевого стресса в мозге животных развиваются тормозные процессы, проявляющиеся (рис.5)

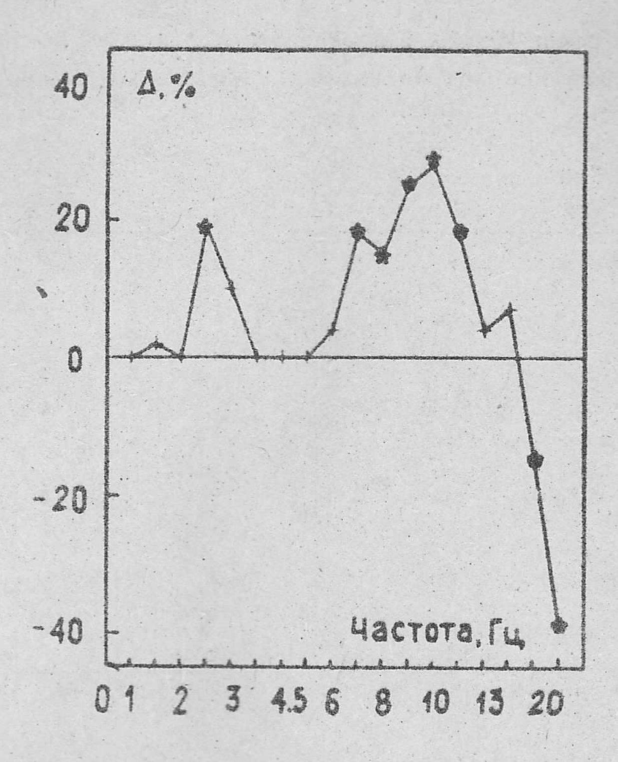


Рис. 5: Разность (в %) между усредненными частотными спектрами элекрограмм мозга крыс ($N = 4$), зарегистрированных на следующий день после иммобилизационно-электроболевого стресса и до него.

в значительном угнетении в ЭГ высокочастотных ритмов (20–26 Гц) и в одновременном усилении более медленных колебаний (3 и 7–12 Гц). Вызванное ИЭС изменение функционального состояния мозга существенным образом модифицировало его реакцию на ММИ (рис.6). Действительно, если в норме (сплошные линии) облучение вызывало значительное усиление ритмов 13 и 26 Гц (I и IV, соответственно) практически при всех используемых частотах, то после ИЭС (штриховые линии) — каких-либо изменений не наблюдалось. Некоторая модификация эффектов ММИ обнаруживается в этих условиях и на частоте 20 Гц (Ш). С другой стороны, отсутствие изменений в ЭГ на частоте 16 Гц (П) при действии ММИ в норме сменяется после ИЭС достоверным ее усилением. Учитывая, что специфическая эффективность ММИ возрастает при наличии патологии в организме [1], основное внимание в дальнейшем было сосредоточено на характере изменений в выраженности колебаний 16 Гц (рис.7). При облучении точки TR–20 (I) ММИ некоторыми частотами обнаружено усиление данного ритма. Воздействие на точку E–36 (П) в условиях иммобилизации еще до ИЭС (светлые столбики) вызывало качественно иные изменения в выраженности ритма 16 Гц. В аналогичных опытах на тех же крысах, но

проведенных после ИЭС (темные столбики), отмечена значительная модификация эффектов облучения, наблюдавшихся до этой стрессирующей процедуры.

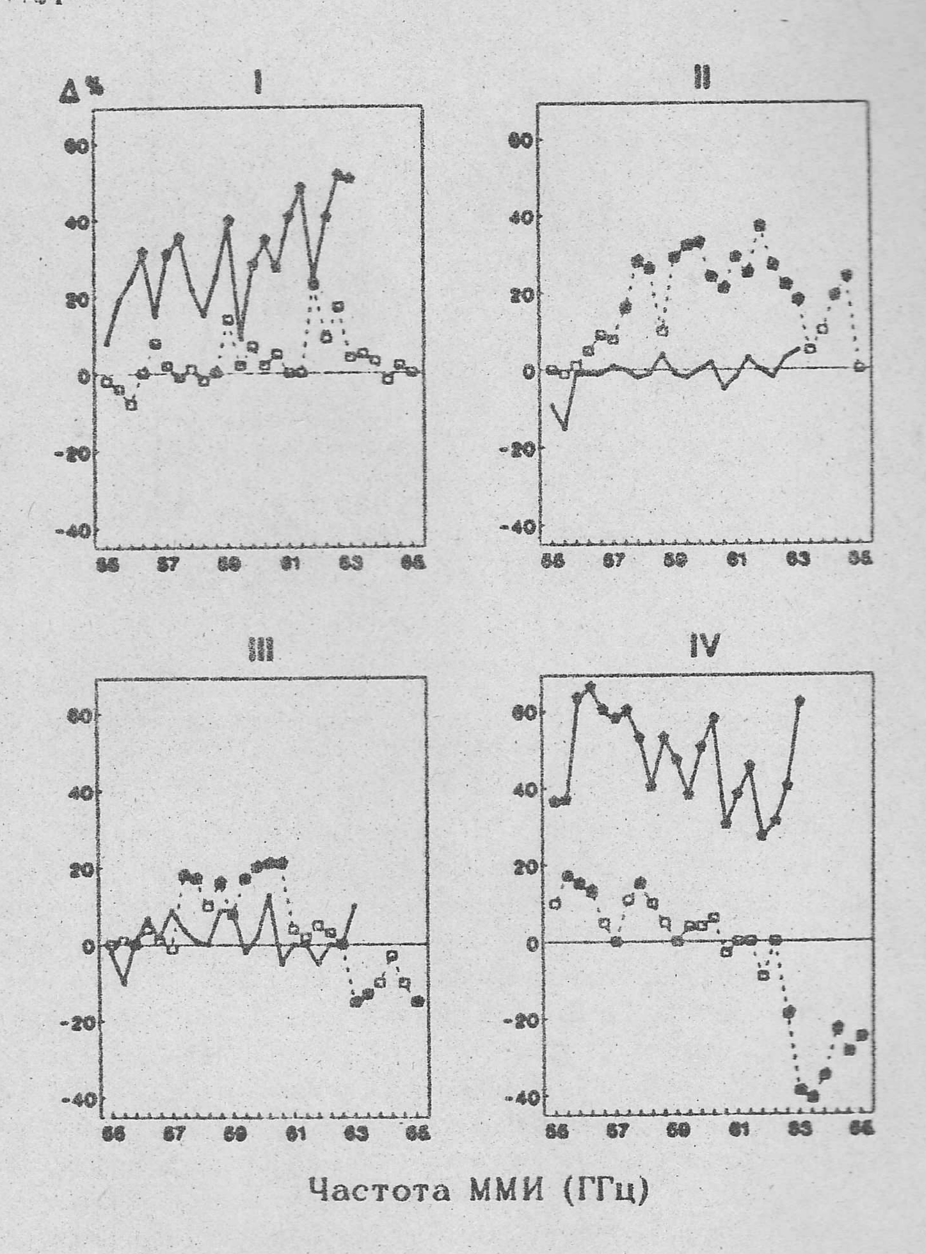


Рис. 6: Изменение выраженности отдельных частот спектра электрограмм мозга крысы при воздействии на точку Е–36 миллиметровым излучением до и после (сплошная и штриховая линии, соответственно) иммобилизационно–электроболевого стресса.

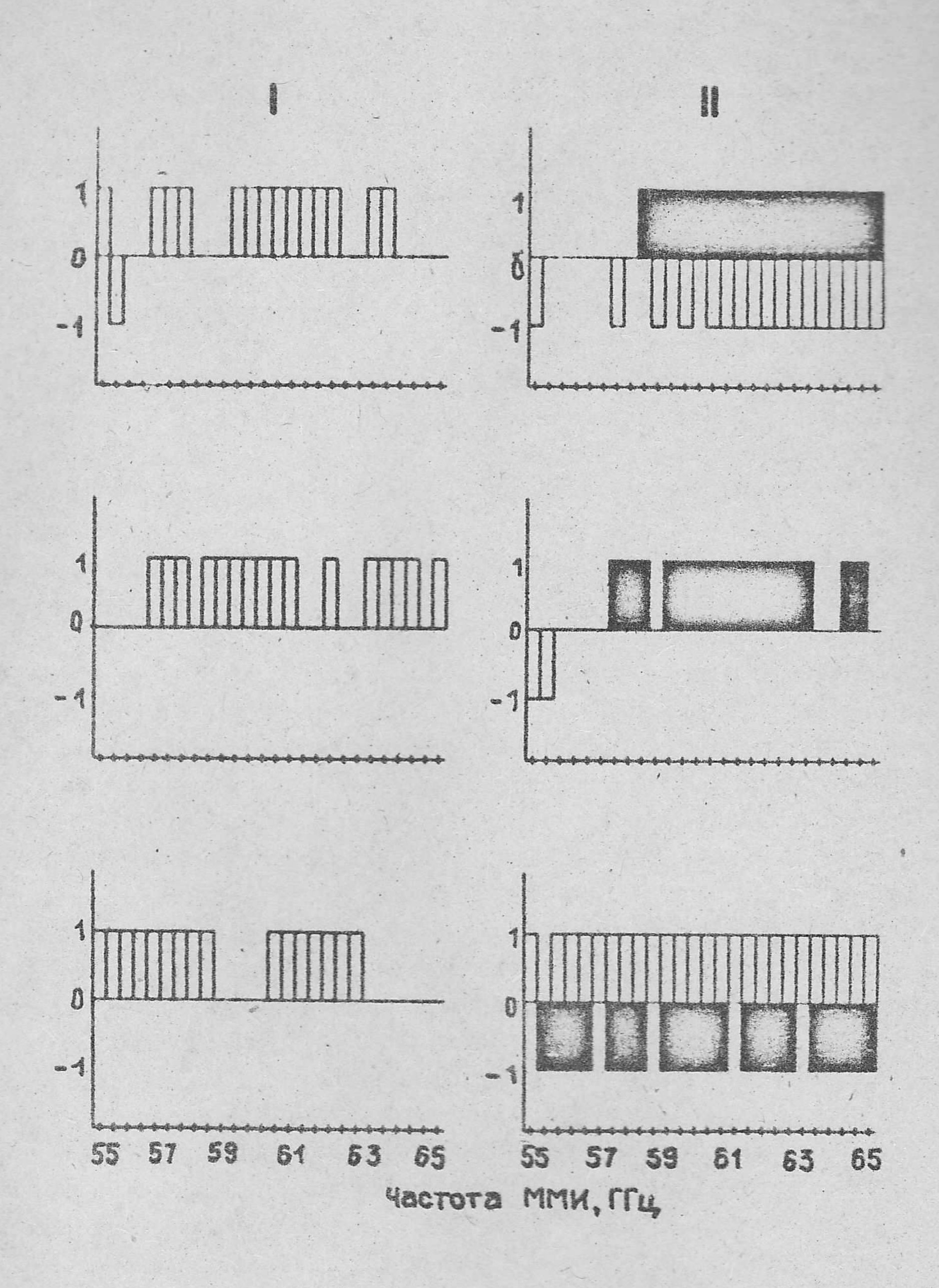


Рис. 7: Зависимость изменений в выраженности частоты 16 Гц в электрограммах мозга некоторых крыс от их функционального состояния и частоты электромагнитного излучения при воздействии на зоны акупунктуры: TR–20 (I) и E–36 (II).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, выявлены значимые отличия в вероятности появления достоверных изменений в частотных спектрах электрограмм переднего гипоталамуса под воздействием ММИ на различные зоны акупунктуры у кроликов. Учитывая дифференцировку функционального назначения исследуемых зон, можно констатировать, что в условиях воздействия ММИ на точки "сердца" и "гипоталамуса" наблюдаются существенно большие изменения не только в ЭГ гипоталамуса, но и в ритме сердца по сравнению с опытами по облучению точки "долголетия". Эти соответствия представляются вполне объяснимыми поскольку гипоталамус, как известно, является одним из высших центров вегетативной регуляции и, в частность, сердечной деятельности. Полученные данные показывают, что наиболее выраженные эффекты наблюдаются при воздействии на аурикулярную зону (31%), а минимальные — на корпоральную область (5%), тогда как промежуточное значение (21%) обнаружено при облучении краниальной зоны. Эти результаты можно рассматривать в качестве дополнительного экспериментального подтверждения с одной стороны теоретических представлений о том, что при воздействии на аурикулярные точки, в отличие от корпоральных, наблюдается более мощное вовлечение различных структур мозга [13]. С другой стороны, полученные данные хорошо совпадают с эмпирически подобранным соотношением времен экспозиции (1:5) при лазеропунктуре аурикулярных и корпоральных точек [14]. Разнонаправленный характер тенденций в ЧСС при воздействии на точки "сердца" и "гипоталамуса", а также количественные различия в выраженности эффектов в ЭГ гипоталамуса могут указывать на вовлечение в этих условиях различных нейронных и(или) нейрохимических систем.

Следует отметить, что быстрое появление и кратковременный характер реакции гипоталамуса при применении ММИ [1], а также инициирующая роль центральной нервной системы в механизме формирования акупунктурного воздействия [15] позволяют в какой-то мере объяснить те необычные эффекты в ЭГ, которые наблюдались в наших опытах (Приложение). Действительно, подобное сочетание снижения мощности ритмов 5,16 Гц и усиления колебаний 7, 8, 12 и 26 Гц при воздействии ММИ невозможно интерпретировать в соответствии с существующими представлениями об отражении в ЭГ мозга какого-либо функционального состояния животных или человека. В связи с этим естественно предположить либо наличие устойчивых на протяжении периода наблюдения (5 мин) специфических эффектов ММИ в суммарной электрической активности, либо проявление результата усреднения изменений, возникающих под воздействием ММИ на данном интервале и имеющих различный характер и(или) временные параметры.

Следует отметить, что при использовании ММИ преимущественно наблюдаются выраженные тормозные процессы в мозге [16, 17], что связывается некоторыми авторами с общим седативным эффектом данного воздействия на организм [2]. Исходя из этого, следовало ожидать замедление основной ритмики в ЭГ мозга с одновременным ослаблением мощности высокочастотных колебаний. Однако в наших экспериментах с ММИ указанный эффект был более сложным. С одной стороны, определенный вклад в данное явление, по-видимому, может вносить дифференцированная эффективность различных частот облучения (Приложение).

Однако среди них можно выделить лишь частоту 74 ГГц, на которой воздействие ММИ на точку "гипоталамуса" (Приложение, табл.3) вызывает особо значительную (50%) вероятность появления достоверных изменений в спектрах ЭГ гипоталамуса. С другой стороны, известны данные [5] об индивидуальных и топологических особенностях реакций на ММИ, в частности, в электрической активности мозга [12]. В связи с этим, возможно усреднение данных по всем девяти кроликам в наших опытах нивелирует их собственные характеристические частоты [1]. Учитывая все вышеизложенное, а также наличие сглаживания зависимости эффектов от частоты ММИ по мере усложнения уровня регуляторных механизмов исследуемой системы [18], можно заключить, что для выявления "резонансных" процессов в мозге необходимо проводить анализ более кратковременных и пространственно–локализованных в мозге паттерном его электрической активности.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Достоверные изменения в частотном спектре электрограмм (ЭГ) гипоталамуса кроликов при воздействии миллиметрового излучения на аурикулярную точку "сердца"

$F_{эг}$	Частота миллиметрового излучения, ГГц																				
Гц	55	75	57	68	60	63	74	61	59	66	62	72	67	58	71	64	70	56	69	73	65
1.0																				–	
1.5															–						
2.0																		+		+	
2.5	+			+						+	+				+		+			+	+
3.0											+			+		+	+			+	
4.0																					
4.5								+													
5.0	–			–	–	–	–			–	–	–	–	–	–	–	–	–		–	–
6.0																		–			
7.0	+	+		+		+		+	+	+		+		+					+	+	
8.0	+	+	+	+		+		+	+	+	+	+	+	+		+				+	
9.0							+														
10																					
12	+		+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
13			+													+					
16	–	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		–	–	–	–	–	–
20								+						+	+						
26				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		

Примечание. Здесь и в табл.2 и 3 + — достоверное усиление ($p < 0,05$), – — ослабление мощности ритмов ЭГ гипоталамуса.

Таблица 2

Достоверные изменения в частотном спектре электрограмм (ЭГ)
гипоталамуса кроликов
при воздействии миллиметрового излучения
на аурикулярную точку "долголетия"

$F_{эг}$	Частота миллиметрового излучения, ГГц																				
Гц	55	75	57	68	60	63	74	61	59	66	62	72	67	58	71	64	70	56	69	73	65
1.0																					
1.5															-						
2.0																					
2.5	+								+								+				
3.0																					
4.0																					
4.5																					
5.0																					
6.0																					
7.0												+									
8.0													+	+							
9.0																					
10																			+		
12																				+	
13									+												
16																					
20			+			-														+	
26			+							+	+							+	+		

Таблица 3

Достоверные изменения в частотном спектре электрограмм (ЭГ) гипоталамуса кроликов при воздействии миллиметрового излучения на аурикулярную точку "гипоталамуса"

Fэг	Частота миллиметрового излучения, ГГц																				
Гц	55	75	57	68	60	63	74	61	59	66	62	72	67	58	71	64	70	56	69	73	65
1.0		−																			
1.5																					
2.0																					
2.5							+			+							+				
3.0	+						+				+							+	+		
4.0							+											+	+		
4.5																					
5.0			−		−		−	−					−	−			−				
6.0							−	−									−				
7.0												+		+							
8.0								+		+			+	+							
9.0							−										−	−	−		
10																					
12			+	+			+						+								
13			+															−	−		
16	−	−		−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
20	+																				−
26	+	+		+	+		+	+	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+	+

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Е.А., Белый М.У., Куценок В.А. и др. – В кн.: "Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине". – М.: 1985, С.58.
2. Андреев Е.А., Белый М.У., Ситько С.П. // Вестн.АН СССР. 1985. Вып.1. С.24.
3. Девятков Н.Д., Бецкий О.В., Голант М.Б. – В кн.: "Биологические эффекты электромагнитных полей. Вопросы их использования и нормирования". – Пущино, 1986. С.75.
4. Хромов С.В., Куликов М.А. // Журн.высш.нерв.деят. 1990. Т.40. N 2. С.377.
5. Василевский Н.Н., Гондарева Л.Н., Койсин Б.А. // Физиол.журн. СССР. 1984. Т.70. N 4. С.419.
6. Угаров Б.И. – В кн.: "Фундаментальные и прикладные аспекты применения миллиметрового электромагнитного излучения в медицине". – Киев, 1989. С.301.
7. Голанов Е.В., Калюжный Л.В. // Бюлл.эксперим.биологии и медицины. 1980. N 6. С.643.
8. Qizhang Yin, Jianren Mao, Shiyn Guo // Funct.Neurol. 1988. V.3. N 3. P.263.
9. Комаров Ф.И., Заводская И.С., Морева Е.В. и др. Нейрогенные механизмы гастро–дуоденальной патологи. – М., 1984. С.60.
10. Ярков А.В., Воробьев В.В., Гальченко А.А. и др. // Физиол.журн. СССР. 1989. Т.75. N 12. С.1677.
11. Портнов Ф.Г. Электропунктурная рефлексо–терапия. – Рига, 1987. 283 с.
12. Voll R. Topographic position of the measurement points in electroacupuncture. – Uelzen. West Germany. Verlag. 1978. V.3. P.53.
13. Дуринян Р.А. Физиологические основы аурикулярной рефлексо– терапии. – Ереван, 1983. 238 с.
14. Дзевицкая М.Т. Актуальные проблемы рефлексо–терапии и традиционной медицины. – М., 1990. С.136.
15. Chang Hsiang–Tung. // Endeavour. 1980. V.4. N 3. P.92.
16. Запорожан В.Н., Макулькин Р.Ф., Шандра А.А. и др. – В кн.: "Миллиметровые волны в медицине и биологии"/Под ред.акад.Н.Д.Девяткова. – М., 1989. С.128.
17. Лебедева Н.Н., Сулимов А.А. Там же, С.176.
18. Черняков Г.М., Корочкин В.Л., Бабенко А.П. и др. Там же, С.140.

Институт биофизики клетки
РАН

Поступила в редакцию
28 июля 1993 г.

CHANGES OF FREQUENCY COMPOSITION OF AN ANIMALS BRAIN ELECTRICAL ACTIVITY IN CONDITIONS OF NONTHERMAL MILLIMETER WAVE RADIATION OF ACUPUNCTURE POINTS

R.N.Khramov, V.V.Vorobjov

Low frequency (0–26 Hz) spectrum of rabbit hypothalamus electrograms was registered in 9 awake animals in chronic experiments; the influence of nonthermal local millimeter wave irradiation (55–75 GHz range, sweeping over 1 GHz intervals) was investigated. The exposed skin loci were: I — auricular "heart" point (afterF.G.Portnov), II — cranial acupoint (TR–20)(the "hypothalamus" point after R.Voll), III — acupoint of "longevity" (E–36).

The exposure of acupoint I yielded a significant suppression of hypothalamic electric activity at 5 and 16 Hz and enhancement at 7–8, 12 and 26 Hz. The exposure of acupoint II gave similar though less prominent results at 7–8 and 12 Hz. Minimal changes in electrogram were observed when the acupoint III was exposed. The probabilities of significant differences in electrogram spectra (integralfor all millimeter wavw frequencies) were 31, 21 and 5% for acupoints I, II, and III respectively ($p < 0,05$, U–criterium). These facts suggest that the acupcints I and II are more susceptible to millimeter wave exposure than the acupoint III.

УДК 615.47:537

КЛИНИКО–ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ КВЧ ТЕРАПИИ СОСУДИСТО–ВЕСТИБУЛЯРНОЙ ДИСФУНКЦИИ

А.Е.Мальцев, А.Т.Абакаров, В.С.Истомин, О.А.Горева, Ж.А.Белоусова

В работе представлены результаты исследований по изучению эффективности КВЧ воздействия на церебральную гемодинамику, биоэлектрическую активность коры больших полушарий головного мозга и функциональное состояние вестибулярного анализатора в хронических опытах на животных (кошках) с использованием модели сосудисто–вестибулярной дисфункции. Клиническая часть работы отражает результаты исследований функционального состояния церебрального кровообращения и вестибулярного анализатора в условиях КВЧ терапии больных ангиовертеброгенной вестибулярной дисфункцией на фоне начальных проявлений недостаточности кровоснабжения головного мозга (ангиодистонический вариант).

Одной из частых причин нарушения внутричерепной гемодинамики являются сосудистые поражения вертебро–базилярной системы, связанные с остеохондрозом шейного отдела позвоночника Ш. Физическая терапия антиовертеброгенной вестибулярной дисфункции предусматривает лечебные мероприятия, направленные на восстановление кровоснабжения и функционального состояния вестибулярного анализатора.

Немногочисленные литературные данные указывают на положительное влияние КВЧ терапии при сосудистых заболеваниях мозга 12, 31. Между тем, для лечения вестибулярных нарушений сосудистого генеза на фоне шейного остеохондроза излучения мм -диапазона не применялись.

В связи с этим представляет интерес экспериментальная и клиническая оценка эффективности КВЧ воздействия при указанных расстройствах, что и определило два взаимосвязанных направления нашего исследования, в которое входили следующие задачи:

1. Изучение влияния ЭМИ КВЧ разных частот на кровоснабжение мозга, его биоэлектрическую активность и функциональное состояние вестибулярного анализатора у животных (кошек) в условиях нормы и моделирования сосудисто–вестибулярных расстройств путем окклюзии позвоночной артерии.

2. Изучить лечебную эффективность КВЧ воздействия при ангиовертеброгенной вестибулярной дисфункции на фоне начальных проявлений недостаточности кровоснабжения головного мозга (НПНКМ).

Экспериментальный фрагмент работы проведен на 15 взрослых кошках массой 3–4 кг, у которых создавалась модель сосудисто–вестибулярной дисфункции. Подготовка животных проводилась в два этапа. В ходе первой операции (под нембуталовым наркозом) в асептических условиях вживлялись электроды для отведения биоэлектрической активности коры головного мозга — электрокортикограммы (ЭКоГ), реоэнцефалограммы (РЭГ), электронистагмограммы (ЭНГ) и термозонд для калорической стимуляции лабиринтных рецепторов [4].

После первой операции на животных проводилась серия экспериментов, целью которых являлось изучение реакций животных на воздействие КВЧ излучений в условиях нормы.

Через 2–3 недели кошки подвергались второму оперативному вмешательству — созданию модели сосудисто–вестибулярной дисфункции (рис.1). Использовалась разработанная нами методика перевязки позвоночной артерии на уровне межпозвоночного отверстия между I и II шейными позвонками и дополнительной (по показаниям) односторонней перевязки общей сонной артерии [4].

В послеоперационном периоде наблюдалась симптоматика нарушения мозговой гемодинамики и функционального состояния вестибулярного анализатора: снижение амплитуды основной пульсовой волны (по данным РЭГ), спонтанный нистагм, а также изменение порога и амплитудно–частотных характеристик калорического нистагма (по данным ЭНГ) (рис.1).

Запись исследуемых параметров проводилась с помощью 8–канального электроэнцефалографа "Орион", РЭГ исследовалась с использованием реографической приставки РП–1М. При этом рабочий ток подавался на вживленные в височную область коры головного мозга электроды с межэлектродным расстоянием 5 мм.

Воздействие КВЧ излучением осуществлялось генератором ГЧ–141. ЭМИ мм-диапазона подводилось к объекту посредством гибкого диэлектрического волновода с излучателем на конце, который устанавливался над рефлексогенной зоной между VII шейным и I грудным позвонками. Мощность на выходе излучателя составляла 10 мВт/см^2, продолжительность воздействия 30 минут.

В сериях хронических экспериментов оценивалось влияние следующих частот мм-диапазона излучения: 53,53 ГГц; 42,25 ГГц; 50,53 ГГц; 40,53 ГГц. Согласно данным проведенных нами острых опытов, эти частоты оказывали более выраженное влияние на вызванную биоэлектрическую активность коры больших полушарий головного мозга.

В процессе проведения клинических исследований под наблюдением находилось 65 больных в возрасте от 23 до 45 лет. Диагностика ангиовертеброгенной вестибулярной дисфункции на фоне НПНКМ (ангиодистонический вариант) проводилось с учетом существующей классификации

сосудистых заболеваний головного мозга, предложенной Институтом неврологии АМН, субъективных и объективных критериев комплексного отоневрологического обследования, данных РЭГ, нейроофтальмологического исследования, рентгенографии черепа, шейного и грудного отделов позвоночника [5].

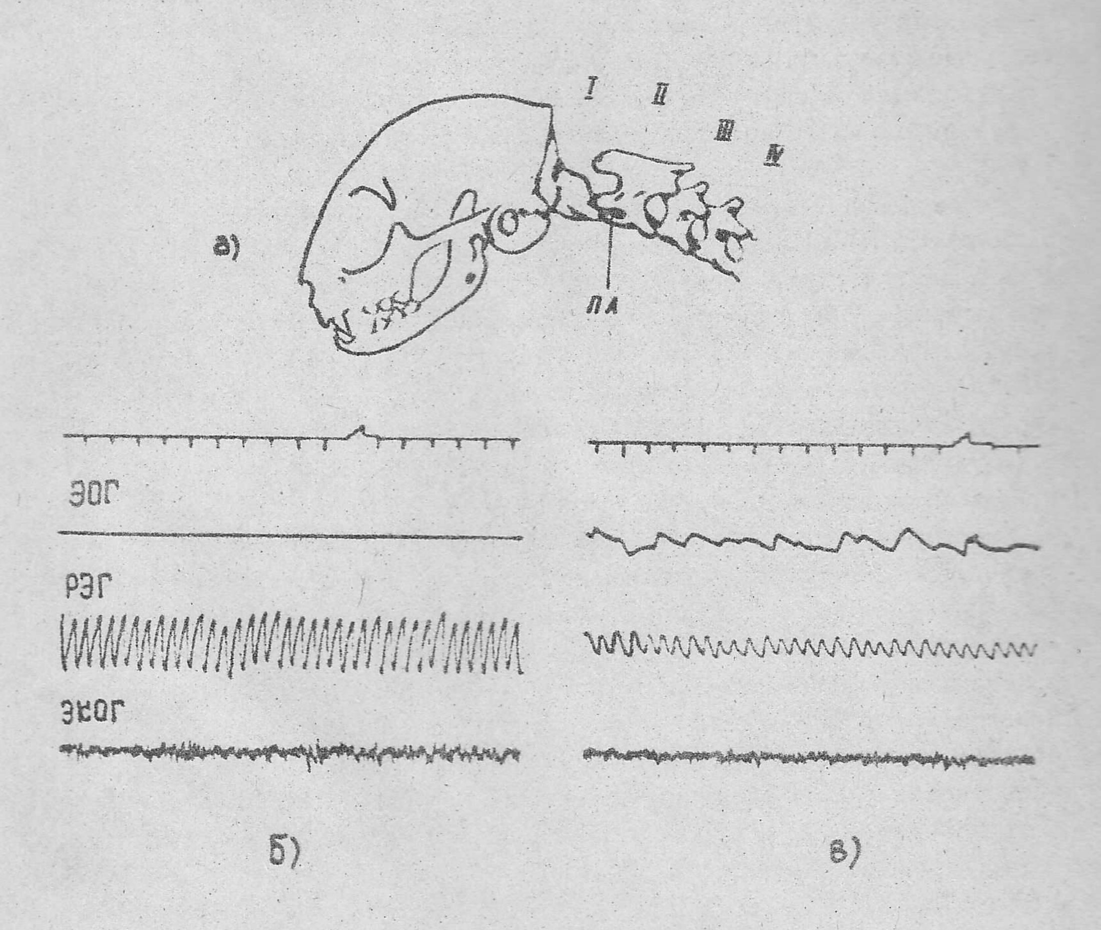


Рис. 1: Влияние перевязки позвоночной артерии (ПА) на электроокулограмму (ЭОГ), реоэнцефалограмму (РЭГ) и электрокортикограмму (ЭКоГ) кошек: а — схема операции с указанием места окклюзии ПА; б — ЭОГ, РЭГ и ЭКоГ до операции; в — ЭОГ, РЭГ и ЭКоГ после операции. Калибр.: 100 мкВ, 1 сек.

Для лечебного воздействия ЭМИ мм-диапазона использовалась рефлексогенная зона в области БАТ Да–Чжуй (между остистыми отростками VII шейного и I грудного позвонков), являющаяся интегратором деятельности всех систем каналов [6]. Воздействие на данную БАТ использу-

ется при нарушении кровообращения головного мозга, головокружениях, контрактуре мышц шейно–затылочной области 171. КВЧ терапия проводилась аппаратами Явь–1–7,1 и БАЮР–01. ЭМИ мм-диапазона подводилось к объекту посредством рупора на фиксированной частоте 42,25 ГГц (в соответствии с данными экспериментальных исследований). Время облучения составляло 30 минут. До и после лечебного воздействия (5 ежедневных процедур) изучались субъективные ощущения (головокружение, головные боли, вестибулярные иллюзии противовращения и др.), а также объективные показатели гемодинамики головного мозга (по данным РЭГ) и функционального состояния вестибулярного анализатора (по данным ЭНГ).

Реоэнцефалограмма записывалась на 4–канальном реографе РГ–4–01 и 8–канальном электроэнцефалографе фирмы "Медикор" (Венгрия). Наложение электродов стандартное (лобно–сосцевидное и затылочно–сосцевидное). Для оценки функционального состояния церебральных сосудов применялись функциональные пробы (нитроглицериновая, пережатие общих сонных артерий и повороты головы). Качественно–количественные показатели РЭГ оценивались по общепринятой методике.

Функциональное состояние вестибулярного анализатора изучалось с помощью вращательной пробы на вестибулометрическом кресле (Швеция) по данным количественного и спектрального анализа ЭНГ.

Опыты на интактных животных показали, что КВЧ облучение всеми указанными выше частотами вызывает достоверные изменения исследуемых функциональных показателей. Согласно данным РЭГ, уже в середине сеанса воздействия отмечалось увеличение амплитуды основной пульсовой волны, а к концу эксперимента она возрастала на 25–30% от исходного уровня (рис.2). У интактных кошек не замечено значительных частотнозависимых различий эффектов КВЧ облучения. Вместе с тем, складывается впечатление, что частоты 40,53 ГГц и 42,25 ГГц оказывают более выраженное влияние на мозговой кровоток, нежели частоты 50,53 ГГц и 53,53 ГГц.

Однонаправленностью характеризовались и изменения ЭКоГ животных. В процессе экспозиции КВЧ наблюдалось возрастание удельного веса медленных колебаний биоэлектрической активности головного мозга. Учащались вспышки веретенообразной активности частотой 8–12 колебаний в секунду. Если на исходной ЭКоГ наблюдались высокочастотные ритмы бета и гамма диапазона, то к концу КВЧ воздействия можно было отметить до 5–8 веретен в минуту.

КВЧ воздействие оказывало влияние и на реактивность вестибулярного анализатора. У всех животных облучение приводило к снижению частоты и амплитуды нистагменного ответа, увеличению его скрытого периода и укорочению последействия. наиболее выраженные уменьшения амплитуды нистагма (на 30–50%) отмечались после завершения сеанса

КВЧ воздействия (рис.2). Тенденция к снижению реактивности вестибулярной системы наблюдалась при всех частотах КВЧ облучения, однако достоверных различий, зависимых от частоты, на интактных животных установить не удалось (рис.4А).

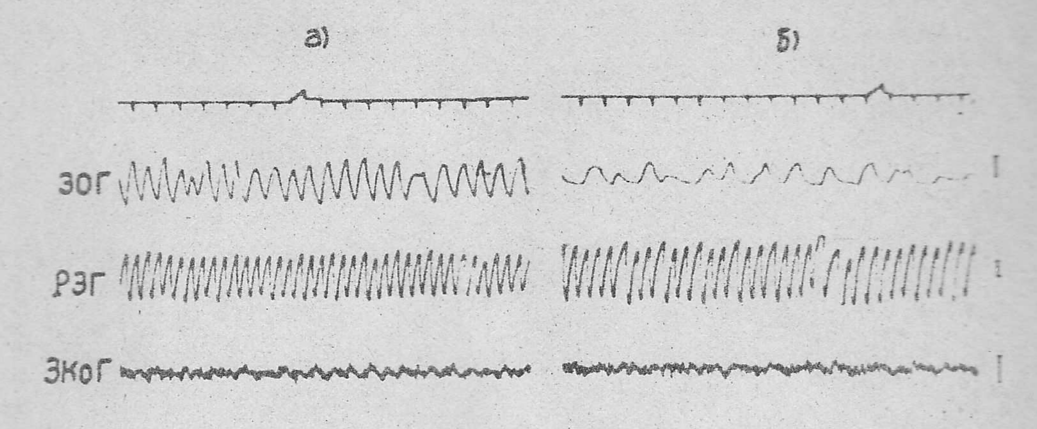


Рис. 2: Влияние КВЧ воздействия на ЭОГ, РЭГ и ЭКоГ кошек до перевязки ПА а — до КВЧ воздействия; б — после КВЧ воздействия. Калибр.: 100 мкВ, 1 сек.

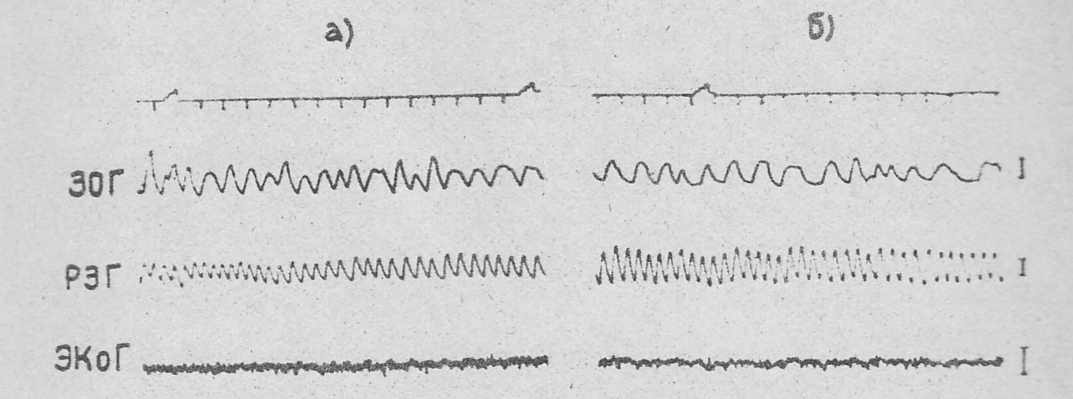


Рис. 3: Влияние КВЧ воздействия на ЭОГ, РЭГ и ЭКоГ кошек после моделирования сосудисто–вестибулярной недостаточности (перевязка ПА) а — до КВЧ воздействия; б — после КВЧ воздействия. Калибр.: 100 мкВ, 1 сек.

В сериях экспериментов, проведенных после моделирования сосудисто–вестибулярной дисфункции, были получены следующие результаты. В послеоперационном периоде у всех животных обнаруживалось значительное (в 2–3 раза) снижение амплитуды основной пульсовой волны РЭГ. КВЧ облучение приводило к прогрессивному увеличению амплитуды колебаний РЭГ волны. Выраженность изменений реоэн-

цефалограммы у оперированных кошек значительно превышала уровень их изменений в норме, до перевязки сосудов (рис.3). Амплитуда основной пульсовой волны могла повышаться к концу сеанса КВЧ воздействия более, чем на 100 %. Согласно полученным в этой серии экспериментов данным, частота КВЧ воздействия более отчетливо, по сравнению с нормой, определяла получаемые эффекты. Облучение частотами 40,53 ГГц и 42,25 ГГц давало более значительное увеличение амплитуды РЭГ волны, по сравнению с частотами 50,53 ГГц и 53,53 ГГц (рис.4Б).

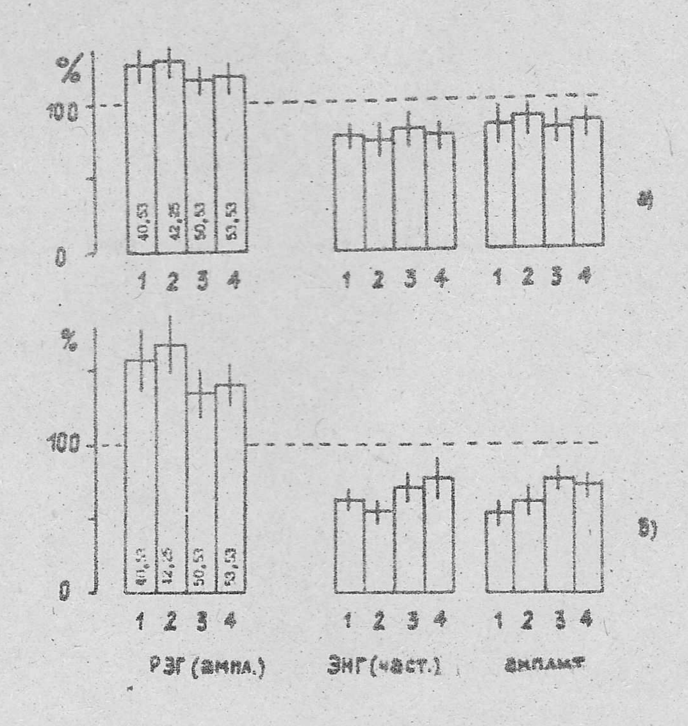


Рис. 4: Влияние воздействия различными частотами КВЧ излучения на исследуемые показатели РЭГ и ЭОГ: А — до перевязки ПА; Б — после перевязки ПА. (Частоты: 1 — 40,53; 2 — 42,25; 3 — 50,53; 4 — 53,53, частоты в ГГц).

Направленность сдвигов биоэлектрической активности коры головного мозга под влиянием КВЧ воздействия у животных с моделированием сосудистой недостаточности была той же, что и в норме. В ходе облучения происходило усиление низкочастотной веретенообразной биоэлектрической активности.

После перевязки сосудов у всех животных отмечались проявления вестибулярной дисфункции в виде более или менее выраженного спонтанного нистагма (0,2–0,5 колебаний в секунду, 50–100 мкВ), направленного в сторону, противоположную стороне перевязки. В ходе сеанса КВЧ облучения спонтанный нистагм снижался до полного исчезновения. Отчетливой связи этого эффекта с частотой КВЧ воздействия не установлено.

Под влиянием КВЧ облучения, как и до операции, уменьшались частота и амплитуда калорического нистагма, что свидетельствует о снижении реактивности вестибулярного анализатора, вместе с тем, согласно данным, полученным в этой серии опытов, более значимые эффекты наблюдались после воздействия частотами 40,53–42,25 ГГц (рис.4Б).

Изучение функциональных показателей РЭГ и ЭНГ у группы больных до и после КВЧ терапии позволило также выявить тенденцию к урегулированию гемодинамики головного мозга и функционального состояния вестибулярного анализатора. После КВЧ терапии у 85% больных отмечено улучшение общего состояния, снижение интенсивности головокружения, уменьшение головной боли и вестибулярных иллюзий противовращения.

По данным РЭГ у большинства больных (86%) отмечалась положительная динамика. Улучшение церебрального кровообращения объективизировалось урегулированием сосудистого тонуса в бассейне позвоночных артерий, улучшением венозного оттока и исчезновением или уменьшением асимметрии кровооттока. По данным ЭНГ после КВЧ терапии у большинства больных (70 %) отмечено уменьшение амплитуды нистагма, удлинение латентного периода и укорочение нистагменной реакции, что свидетельствует об уменьшении возбудимости вестибулярного анализатора.

Представленные в статье материалы клинико–экспериментальных исследований в целом позволяют оценивать ЭМИ мм-диапазона как эффективное средство в комплексной терапии вестибулярной дисфункции сосудистого генеза. Наши экспериментальные и клинические данные о положительном влиянии КВЧ на мозговую гемодинамику согласуются с результатами ранее проведенных наблюдений [2, 3]. Согласно последним, КВЧ терапия приводит к снижению тонуса центральных и периферических сосудов, способствуя повышению их кровенаполнения.

КВЧ воздействие, как показали наши исследования, вызывает благоприятное изменение функционального состояния вестибулярной системы. Объективно это находило выражение в уменьшении спонтанного, калорического и вращательного нистагма, а субъективно — в снижении дискомфортных ощущений головокружения.

Указанные сопряженные сдвиги состояния мозгового кровооттока и вестибулярной системы, вероятно, объясняются тем, что КВЧ воздействие запускает сложный комплекс нейрогуморальных регуляторных механизмов, способствующих переводу живых систем на оптимальный режим функционирования [8, 9, 10].

Предполагается, что центральные аппараты, опосредующие эффекты КВЧ воздействия, локализуются в стволовых лимбико–ретикулярных образованиях [11, 12]. Косвенным подтверждением этому являются наши данные об изменении биоэлектрической активности коры, согласно которым в процессе КВЧ облучения происходило возрастание удельного веса

низкочастотной веретенообразной ритмики.

Существует мнение, что нетепловые ЭМИ КВЧ оказывают воздействие на организм лишь в том случае, когда имеется патология и функциональная готовность эффекторных механизмов отреагировать на внешний физический сигнал [9]. Наши данные в определенной степени подтверждают это представление. Эффективность КВЧ воздействия на показатели РЭГ и ЭНГ оказалась более выраженной в условиях патологических сдвигов мозгового кровооттока и состояния вестибулярной системы. вместе с тем, результаты наблюдений на здоровых животных дают основание полагать, что ЭМИ КВЧ влияют на состояние организма и в условиях физиологической нормы.

Полученный экспериментальный материал позволяет думать о существовании частотной зависимости некоторых эффектов, вызываемых КВЧ излучением. Сравнительно низкие частотные диапазоны излучений оказывали более выраженное влияние на исследуемые показатели, что, по-видимому, связано с более глубоким их проникновением в кожу и вовлечением большего количества рецепторов, от активности которых зависит величина реакций различных систем организма.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Д.Трошин, Е.П.Семенова. Основы ранней диагностики и профилактики сосудистых заболеваний мозга. – Горький, Волго–Вятское из-во. 1979. 207 с.
2. В.А.Карлов, И.В.Родштадт, Ю.Д.Калашников и др. КВЧ терапия при сосудистой патологии головного мозга.–В сб.: Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. VII Всесоюзный семинар, Звенигород, 1989. С.30–31.
3. В.И.Песецкий, Н.Ф.Дрюк, А.М.Бахарев, О.И.Писанко. Применение аппаратов "Электроника-КВЧ" в комплексной терапии ишемических состояний конечности. // Электронная промышленность. 1991. N 3. С.71–73.
4. А.Е.Мальцев, А.Т.Абакаров, О.А.Горева, Ж.А.Белоусова. Особенности влияния искусственного магнитного поля на функциональное состояние вестибулярной системы в условиях экспериментальной окклюзии позвоночной артерии. // Нижегородский медицинский журнал. 1992. N 2–3. С.115–116.
5. В.Д.Трошин. Профилактика нервных болезней. Учебно–методическое пособие для студентов. – Горький, 1988. С.25.
6. А.Т.Кочан, Н.Н.Богданов, П.Х.Варнаков и др. Анатомо–топографическое расположение корпоральных точек акупунктуры и показания к их применению. – Воронеж: из-во Воронежского университета, 1990. С.20.
7. Э.Д.Тыкочинская. Основы иглорефлексотерапии. – М.: Медицина,

1979. С.122.
8. И.В.Родштадт. Физиологические аспекты рецепции миллиметровых радиоволн биологическими объектами. – В кн.: Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. – М.: ИРЭ АН СССР, 1985. С.132–146.
9. Л.Г.Гассанов, О.И.Писанко, В.И.Пясецкий, Ю.Н.Муськин. Эколого–физические факторы как основа нового медицинского направления. // Электронная промышленность. 1991. N 3. С.64–66.
10. Н.Н.Богданов, В.Н.Мельников, Ю.Н.Островерхий, О.И.Писанко. К проблеме механизма действия КВЧ терапии. // Электронная промышленность. 1991. N 3. С.76–79.
11. Т.А.Гачковсая. О системе электромагнитной регуляции в организме человека и высших животных. // Электронная промышленность. 1991. N 3. С.79-80.
12. В.Т.Радионов. Применение ЭМИ КВЧ в лечении аллергодерматозов. // Электронная промышленность. 1991. N 3. С.74–76.

Нижегородский медицинский институт

Поступила в редакцию 28 июля 1993 г.

CLINICAL EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS ON EHF THERAPY OF VASCULAR-VESTIBULAR DYSFUNCTION

A.E.Maltsev, V.S.Istomin, O.A.Goreva A.T.Belousova

The paper gives the results of investigations concerning the efficiency of EHF radiation on cerebral hemodynamics, bielectric activity of the cortex of large cerebral hemispheres and on the functional state of vestibular analyzer in chronical studies of cats using the model of vascular-vestibular dysfunction. The clinical part of the investigation centres on the study of the functional state of cerebral blood circulation and vestibular analyzer during EHF therapy of patients suffering from angiovertebrogenic vestibular dysfunction on the background of initial manifestations of cerebral blood supply deficiency (angiodistonic version).

УДК 615.471:616-085.849.112

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВЫЗВАННЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ КОРЫ БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ

А.Т.Абакаров, А.Е.Мальцев, В.С.Истомин, О.А.Горева, Ж.А.Белоусова

В экспериментах на кошках показаны изменения компонентов вызванного потенциала при прямом КВЧ воздействии на кору больших полушарий.

Согласно данным литературы, структурными компонентами живых клеток, опосредующими эффекты нетепловых воздействий электромагнитных полей миллиметрового диапазона, следует считать биологические мембраны [1, 2, 3]. С этих позиций одним из наиболее адекватных объектов экспериментального изучения эффектов КВЧ облучения являются структуры центральной и периферической нервной системы, функциональное состояние которых определяется процессами, происходящими в области возбудимых мембран. Однако влияние прямого КВЧ облучения на свойства нервных структур до настоящего времени представляются малоизученными.

В нашей экспериментальной работе ставилась задача провести сравнительную оценку воздействия различных частотных диапазонов КВЧ облучения поверхности коры мозга на ее вызванные биоэлектрические потенциалы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Экспериментальный материал получен в острых опытах на 15 взрослых кошках, массой 2,5–3 кг, находившихся под нембуталхлоралозовым наркозом (30–35 мг/кг и 30–40 мг/кг соответственно). Подготовка к опыту включала в себя фиксацию головы животного в стереотаксическом аппарате и препарковку. Для раскрытия исследуемой зоны коры проводилась трепанация черепа. Твердую мозговую оболочку разрезали и отводили в стороны. В качестве источника электромагнитного поля использовали серийно выпускаемые генераторы миллиметрового диапазона частот (Г4–141; ГЧ–142 и др.). Подведение ЭМИ к поверхности коры осуществлялось гибкими диэлектрическими волноводами, излучатели которых устанавливали над облучаемой зоной (передняя супрасильвиева извилина). Мощность на выходе волновода — 10 мВт/см^2. В ходе опыта

проводилось несколько сеансов КВЧ облучения продолжительностью 5 минут с 10 минутными перерывами. Использовались фиксированные частоты от 36,53 ГГц до 118 ГГц.

Биоэлектрические реакции в исследуемом участке коры вызывали моноауральным раздражением слуховых рецепторов щелчками, предъявлявшимися в контралатеральное ухо миниатюрным звукоизлучателем (ТМ-1) и электрической (ЭСУ-1) стимуляцией кожных рецепторов контралатеральной передней лапы. Корковые потенциалы отводили серебряными шариковыми электродами биполярно, усиливали прибором УБП-1-03 и регистрировали с экрана осциллографа С1-18 на фотопленку установкой ФОР-1.

Перед началом облучения для оценки стабильности регистрируемых фоновых вызванных потенциалов (ВП) проводилась двух- трехкратная съемка их с интервалом 5 минут. Сеанс КВЧ воздействия начинали на фоне стабильных амплитудно-временных параметров ВП.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ответ на электрокожное или слуховое раздражение в исследуемой зоне коры возникали ВП, которые по своим характеристикам относятся к первичным ответам. Они представляют собой двухфазные колебания потенциала, начинавшиеся с позитивного компонента со скрытыми периодами 5-8 мс.

Как следует из полученных данных, сеансы облучения приводили к изменениям амплитудных характеристик вызванных потенциалов без существенных сдвигов латентных периодов. Направленность и выраженность этих изменений зависела от частотного диапазона излучений и общей продолжительности экспозиции.

Так, при воздействии КВЧ излучением в диапазоне от 36,53 ГГц до 55,53 ГГц наблюдались следующие характерные тенденции. Первая из них заключалась в том, что в ходе экспозиции отдельных частот происходило небольшое (10-20%) увеличение амплитуды негативного компонента ВП с последующим снижением в интервалах между экспозициями. Изменения позитивного компонента были выражены слабее (Рис.1).

Вторая тенденция изменений амплитудных параметров ВП была связана с суммарным временем экспозиции частот, используемых в эксперименте, которое составляло 30-40 минут. На протяжении этого периода в большей части опытов происходило постепенное возрастание амплитуды отрицательного компонента ВП в 1,5-2 раза, по сравнению с фоновым уровнем; реже отмечалось первоначальное снижение амплитуды с последующим ее увеличением. Позитивный компонент ВП претерпевал сравнительно небольшие изменения.

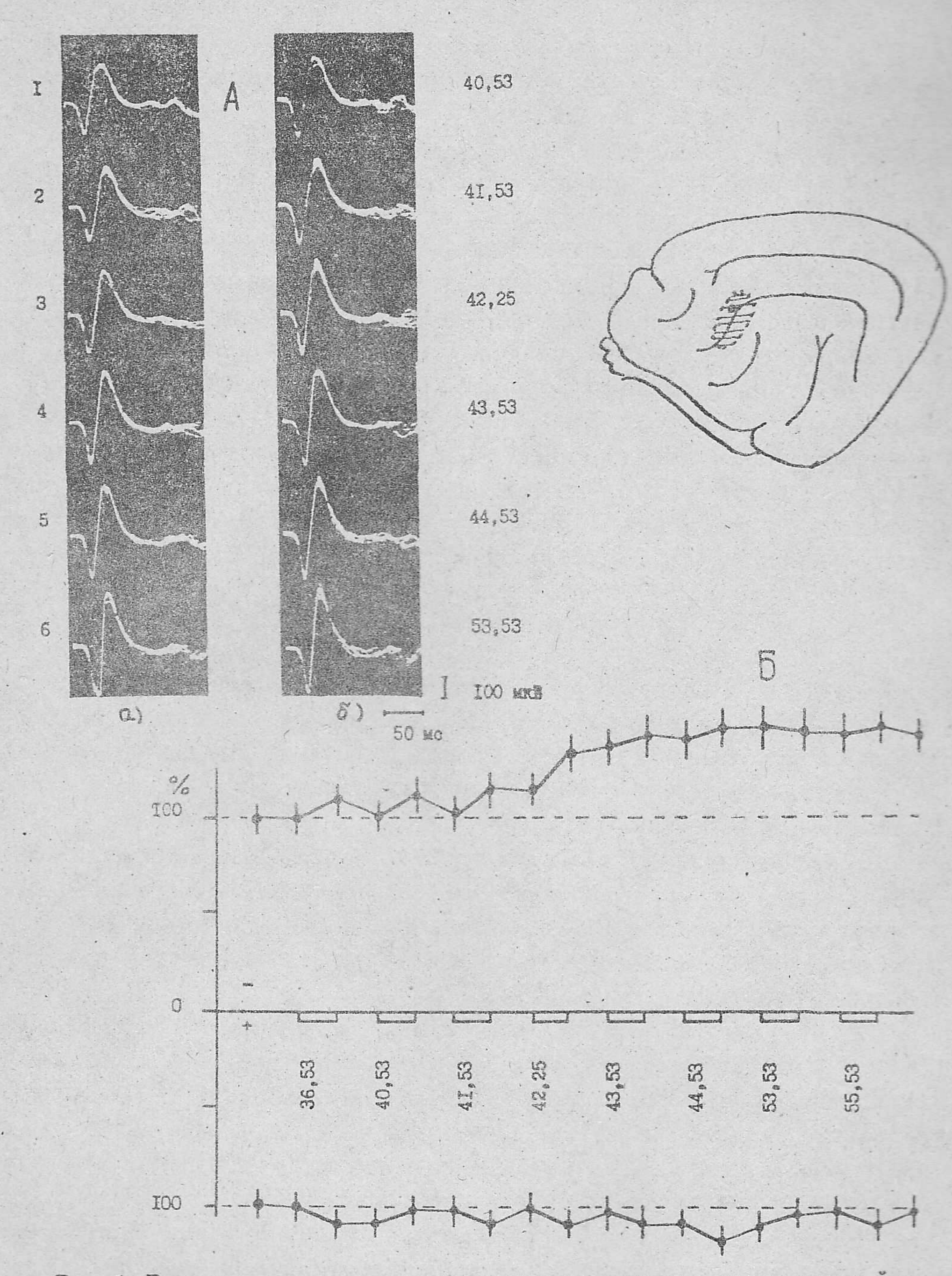


Рис. 1: Влияние низкочастотного диапазона миллиметровых излучений на вызванные потенциалы коры у кошек. А — осциллограммы ВП: а) до КВЧ воздействия; б) после КВЧ воздействия. Частоты указаны справа от колонки б.
Б — динамика ВП в опытах с КВЧ воздействием исследуемого диапазона частот: (-) — амплитуда негативного компонента; (+) — амплитуда позитивного компонента. Частоты указаны под нулевой линией. Вверху схема коры с указанием зоны облучения.

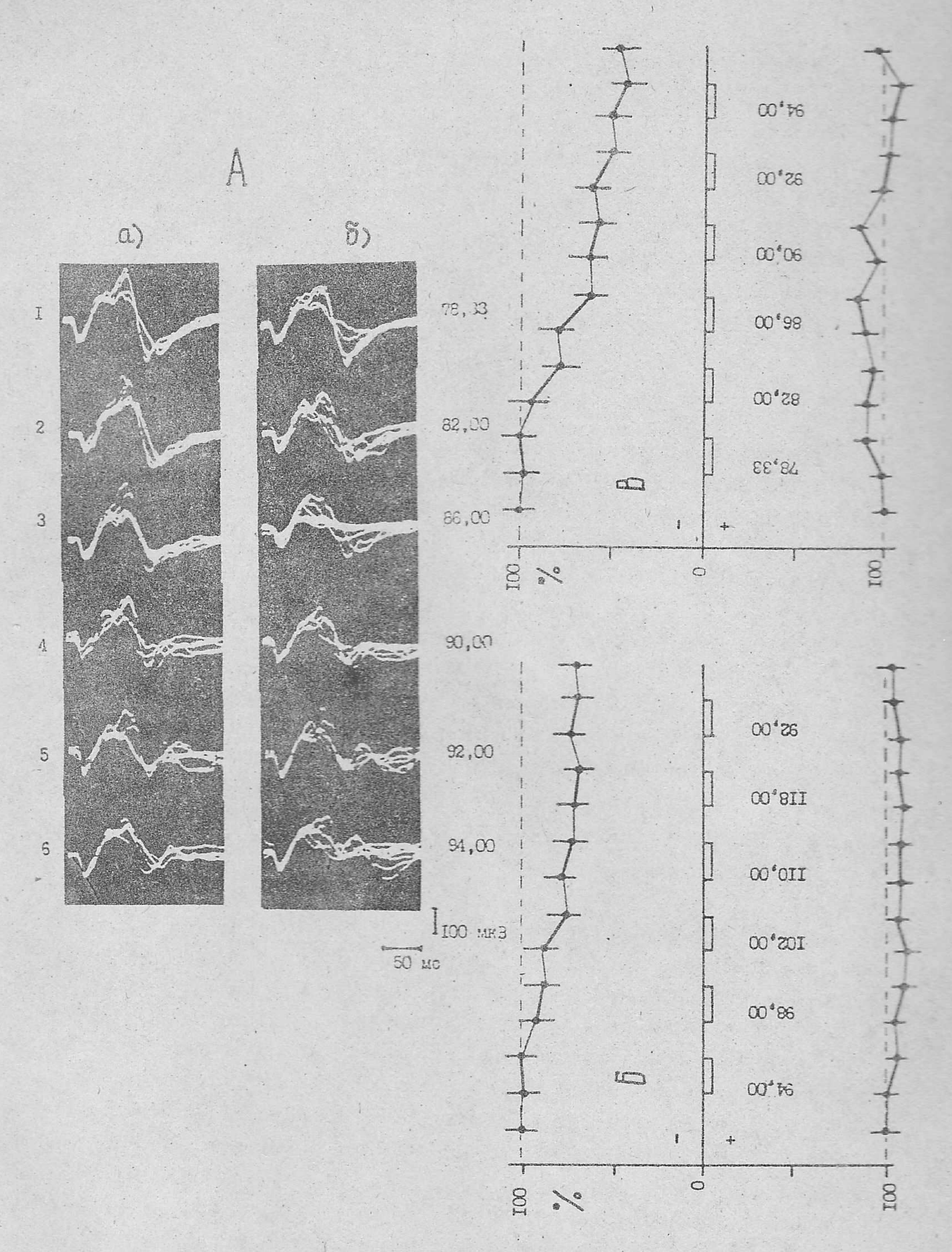


Рис. 2: Влияние высокочастотного диапазона миллиметровых излучений на ВП коры у кошек (А, Б, В).
А — осциллограммы ВП; Б, В — динамика ВП в опытах с КВЧ воздействием исследуемых частотных диапазонов.
(Остальные обозначения см.рис.1.)

Изучение влияния более высокой частоты КВЧ излучения в диапазоне от 78,20 ГГц до 92,00 ГГц показало следующее. Общая направленность сдвигов амплитуды ВП в большинстве опытов с данными частотами была противоположной, в сравнении с диапазоном 40,53–55,53 ГГц. В ходе экспозиций наблюдалось снижение амплитуды, главным образом, негативного компонента ВП (Рис.2).

В опытах с воздействиями частотами 92,00–118 ГГц изменения ВП были наименее выраженными, с тенденцией к уменьшению преимущественно амплитуды негативного компонента (Рис.2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали, прежде всего, что КВЧ воздействие нетепловой интенсивности способно изменить функциональное состояние облучаемой зоны коры больших полушарий, что находит отражение в достоверных сдвигах амплитудных параметров ВП.

Согласно полученным данным, влияние КВЧ воздействия на вызванные потенциалы имеет неоднозначный характер и зависит от частотного диапазона и общей продолжительности облучения. Более чувствительным к КВЧ воздействию оказался негативный компонент ВП.

Наиболее значительные сдвиги, выражавшиеся в увеличении амплитуды негативного компонента обнаружены в условиях воздействия относительно низкочастотного диапазона КВЧ (36,53–53,53 ГГц). Более высокочастотный диапазон (78,20–92,00 ГГц) оказывал противоположное влияние на амплитуду указанного компонента ВП. Частоты 92,00–118 ГГц оказывали аналогичное, но менее выраженное влияние на корковые ответы.

При объяснении полученных результатов необходимо учитывать существующие представления о природе корковых ВП и данные литературы, касающиеся глубины проникновения КВЧ излучений в живые ткани. Известно, что позитивный компонент первичных ответов обусловлен приходом возбуждений по специфическим афферентам и деполяризацией поверхностных слоев через аксональные коллатерали нейронов глубоких слоев и через неспецифические восходящие афференты [4]. Показано, что глубина проникновения КВЧ излучений в кожные покровы зависит от длины волны и не превышает 2 мм. Большая же часть энергии поглощается поверхностными слоями кожи: 30 ГГц — 0,8 мм; 60 ГГц — 0,42 мм; 100 ГГц — 0,32 мм [5]. Вопрос о глубине проникновения миллиметровых волн в ткань мозга не изучен, но допустимо предполагать отсутствие больших отличий в этом отношении от кожи. Толщина исследуемой коры у кошек составляет 1,5–2 мм, а III и IV слои располагаются на глубине примерно 0,5–1 мм. Эти слои нейронов оказываются в пределах досягаемости лишь для наиболее низкочастотного диапазона КВЧ (36,53–53,53

ГГц). Более высокие частоты (от 78,20 ГГц до 119 ГГц), вероятно, практически полностью поглощаются I–II слоями коры и пиальной оболочкой.

Можно полагать, что различия в направленности и степени выраженности изменений ВП коры при воздействии разных диапазонов КВЧ в первую очередь связаны с глубиной распределения мощности излучения в коре. Вероятно, значительные эффекты сравнительно низких частот обусловлены их воздействием на поверхностные и глубокие слои коры. В этом случае на первый план выступают сдвиги функционального состояния нейронов III и IV слоев коры, способствующие синхронизации их разрядов и усилению импульсных потоков, направляющихся по восходящим коллатералям аксонов, что в свою очередь обуславливает более выраженную деполяризацию апикальных дендритов и рост амплитуды негативного колебания ВП. При воздействии более высокочастотных диапазонов КВЧ излучений происходят изменения свойств поверхностных слоев нейрональных элементов и, в частности, синапсов, локализующихся на апикальных дендритах. Наблюдавшиеся эффекты снижения амплитуды ВП могут объясняться снижением деполяризующих и усилением гиперполяризующих влияний этих синапсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Тагер А.С. Роль синхронизации в воздействии слабых сигналов миллиметрового диапазона волн на живые организмы. – В кн.: Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты. – М.: ИРЭ АН СССР. 1983. С.7-17.
2. Девятков Н.Д. Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. М., 1985. С.3-5.
3. Богданов Н.Н., Мельников В.Н., Островерхий Ю.Н., Писанко О.И. К проблеме механизма действия КВЧ-терапии // Электронная промышленность. 1991. N 3. С.76.
4. Гусельников В.И. Электрофизиология головного мозга. – М.: Высшая школа, 1976. 423 с.
5. O.P.Yanolhi, A.Riazi. Absorbtion of millimiter waves by human beings and its biological implications // TEEE Transactions on microwave theory and techniques, vol.MTT-34. 1986. N 2. P.228-235.

Нижегородский медицинский институт

Поступила в редакцию 28 июля 1993 г.

INVESTIGATIONS OF EHF-RADIATION EFFECT ON INDUCED POTENTIALS IN THE CORTEX OF CEREBRAL HEMISPHERES

A.T.Abakarov, A.E.Maltsev, V.S.Istomin, O.A.Goreva, Zh.A.Belousova

Variations in induced potential components during direct EHF-radiation affecting the cortex of large cerebral hemispheres are demonstrated in experiments with a cat.

УДК 612.014.424.5

ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ КВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ДРОЖЖЕВЫХ КЛЕТОК

М.Б.Голант, Д.Г.Мудрик, О.П.Круглякова, В.Е.Извольская

Известно, что на воздействие миллиметровых волн живые организмы отвечают многочисленными изменениями. Выявление изменений в состоянии живых организмов является очень сложной проблемой, т.к. полное биологическое обследование чрезвычайно сложно, если вообще практически возможно. В результате какие-то важные последствия произведенного воздействия могут оказаться невыявленными.

В работе [1] было предложено решить эту проблему рассматривая некоторую интегральную функцию организма (функцию, на которой сказывались бы любые изменения его состояния). Для клеток такой функцией является длительность цикла деления.

Было показано [1], что различия в длительности цикла деления у разных клеток определяются отличиями в их информационных структурах, отражающимися в несовпадении частот, генерируемых клетками когерентных колебаний [2, 3]. В этом случае кривая роста дрожжевой клеточной культуры (Saccharomices Carlsbergensis) имеет вид экспоненциальной зависимости [1] (рис.1а). Если облучить культуру внешним монохроматическим КВЧ сигналом (в течение 1 часа), можно синхронизировать частоты генерируемых клетками колебаний за счет соответствующей перестройки информационных структур клеток. В этом случае различие в длительности циклов деления отдельных клеток практически устранялось, что проявлялось в появлении "ступенек" на кривой роста [1] (рис.1б). Как видно из рис.1б после каждого цикла деления количество клеток удваивается синхронно, так что зависимость числа клеток от времени отражается ступенчатой кривой. Как показано в работе [4] в результате КВЧ воздействия в культуре дрожжей **Saccharomices Carlsbergensis** возникает самоорганизация, проявляющаяся в автосинхронизации циклов почкования клеток.

На основе этого подхода были, в частности, экспериментально изучены основные закономерности влияния частоты, монохроматичности, мощности и длительности воздействия внешнего КВЧ сигнала на биологическое состояние живых клеток [1].

Во всех этих случаях клетки можно рассматривать как активные электрические диполи, на которые действуют внешним КВЧ сигналом. Отношение линейных размеров клеток d (1–10 мкм) к длине электромагнитных

волн КВЧ диапазона (1–10 мм) имеет порядок 10^{-3}. Для многих радиофизических задач можно считать это отношение бесконечно малым. Однако, как известно из теории пространственной дисперсии [5], при таком отношении размера объекта к длине волны может наблюдаться эффект вращения плоскости поляризации электромагнитных волн. Это можно выразить несколько более общим образом. Дипольный момент индуцируемый в клетке, определяется значением напряженности поля E не в одной точке, а в области с размерами, сопоставимыми с протяженностью клеток. То же заключение относится, очевидно, и к связи между E и вектором индукции D. Нелокальность связи между D и E обуславливает целый ряд явлений, получивших название эффектов пространственной дисперсии [5]. Вращение плоскости поляризации представляет собой простейший из этих эффектов, отчетливо проявляющийся уже при $d/\lambda \approx 10^{-3}$.

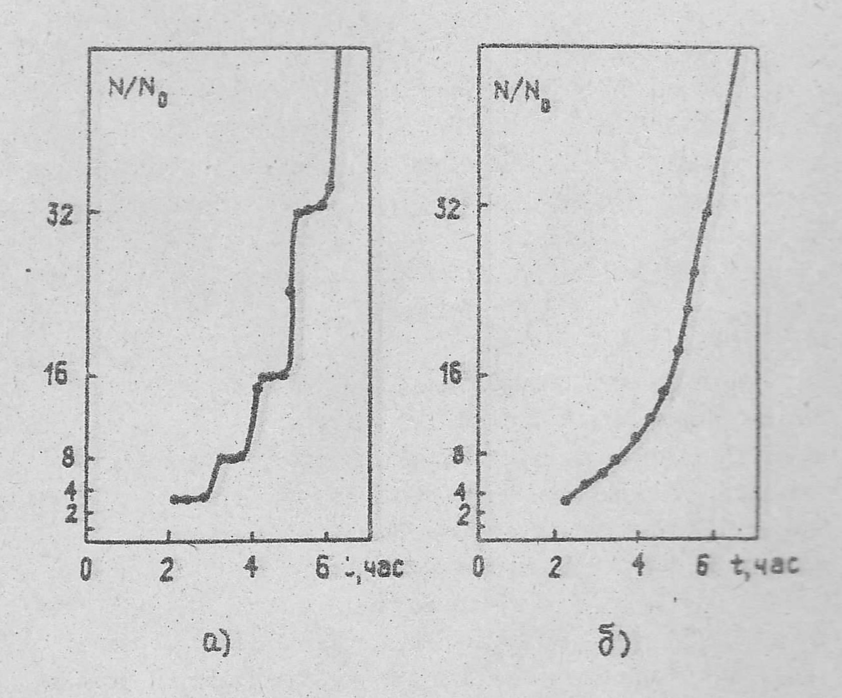


Рис. 1: а) Обычная кривая роста дрожжевой клеточной культуры. N/N_0 — отношение числа клеток N в культуре к исходному числу N_0. t — время развития культуры, час.
б) Кривая роста клеточной культуры после облучения когерентными волнами в КВЧ диапазоне.

С этой точки зрения большой интерес вызывает изучение воздействия КВЧ излучений с левой и правой круговой поляризацией клетки. В на-

стоящей работе представляются экспериментальные данные по исследованию влияния КВЧ излучений с левой и правой круговой поляризацией на культуру дрожжевых клеток (Saccharomices Carlsbergensis). Для этой цели были специально изготовлены круговые поляризаторы в КВЧ диапазоне. Воздействие проводилось на фиксированной частоте $f = 42,19$ ГГц, мощностью, $p = 0,12$ мВт/см^2, время облучения - один час. Методика работы с дрожжевыми клетками и техника эксперимента были взяты из работы [2].

Как показали многочисленные эксперименты, реакции клеток на КВЧ воздействие с левой и правой круговой поляризацией существенно отличаются друг от друга. Синхронизация циклов деления наступала при КВЧ воздействии с левой круговой поляризацией (рис.2а) и практически не наблюдалась при КВЧ воздействии с правой круговой поляризацией (рис.2б).

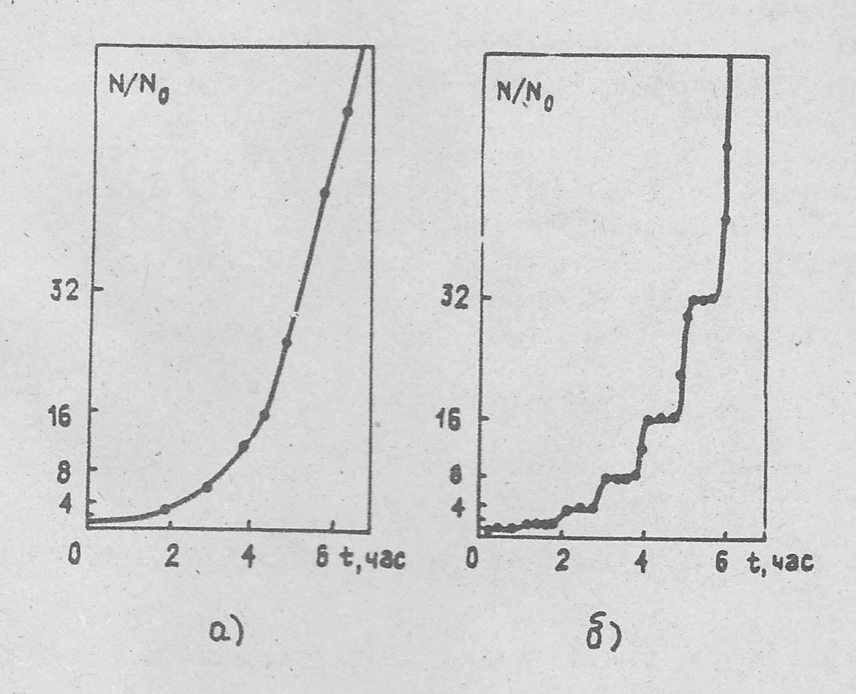


Рис. 2: а) Кривая роста клеточной культуры после КВЧ облучения волнами с левой круговой поляризацией.
б) Кривая роста клеточной культуры после КВЧ облучения волнами с правой круговой поляризацией.

Если принять во внимание, что синхронизация циклов деления клеток возникает за счет синхронизации генерируемых или КВЧ колебаний при

воздействии внешнего когерентного КВЧ излучения, то отсюда следует, что в клетках возбуждаются КВЧ колебания преимущественно с левой круговой поляризацией. С другой стороны, можно рассматривать приведенные результаты как свидетельство того, что первичным приемником КВЧ излучений в клеточной культуре являются объекты, имеющие клеточные размеры. Поскольку для проявления пространственной дисперсии на молекулярном уровне отношение $d_{\text{мол.}}/\lambda \approx 10^{-6}$ слишком мало.

Авторы благодарят за помощь в изготовлении поляризаторов Храпко А.М. и Маслихина В.А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т.П.Вожанова, А.К.Брюхова, М.Б.Голант и др. О возможности использования КВЧ когерентных излучений для выявления различий в состоянии живых клеток. Сб. "Медико-биологические аспекты миллиметрового излучения". – М.: ИРЭ АН СССР, 1987. С.90–97.
2. Н.Д.Девятков, М.Б.Голант, О.В.Бецкий. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. – М.: Радио и связь, 1991. С.29–31.
3. М.Б.Голант. "О проблеме резонансного действия когерентных электромагнитных излучений миллиметрового диапазона на живые организмы." // Биофизика. 1989. Т.34. Вып.2. С.339–348.
4. М.Б.Голант, А.П.Кузнецов, Т.П.Божанова. "О синхронизации культуры клеток КВЧ-облучением". // Биофизика (в печати).
5. Г.С.Ландсберг. Оптика. – М.: Наука, 1976. С.607–608.

Государственное научно-производственное предприятие "Исток"

Поступила в редакцию 28 июля 1993 г.

THE EFFECT OF EHF-RADIATION POLARIZATION OF YEAST CELLS

M.B.Golant, L.G.Mudrik, O.P.Kruglyakova, V.E.Izvol'skaya

УДК 537.868.3; 546.212; 541.12.03

ДИССОЦИАЦИЯ ВОДЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ

В.Л.Вакс, Г.А.Домрачев, Ю.Л.Родыгин,
Д.А.Селивановский, Е.И.Спивак

С помощью хемилюминесцентного способа измерены концентрации пероксида водорода $c(H_2O_2)$, появляющейся в воде, облученной э.-м. энергией на частотах 2500 МГц и 10000 МГц. Делается вывод о существовании диссоциации воды на радикалы $H\cdot$ и гидроксил радикал $\cdot OH$, как части механизма поглощения СВЧ излучения.

Известно, что СВЧ электромагнитная энергия эффективно поглощается толщей воды [1]. Общепринятый механизм этого явления объясняет поглощение как следствие возбуждения конформационных и вращательных степеней свободы молекул воды, возбуждение ее межмолекулярных водородных связей (энергия водородных связей в воде $< 0,2$ э.в.). Таким образом, поглощение электромагнитной энергии приводит к увеличению кинетической энергии молекул воды, то есть к повышению ее температуры.

Однако следует заметить, что жидкая вода ($0 - 65°$) глубоко ассоциированная жидкость с двумя сильно различающимися типами связей: химическими, валентными связями $O - H$ (энергия связи в газовой фазе — 5 э.в.) и межмолекулярными водородными связями [2]. Вода к тому же — сильно пространственно структурированная жидкость, имеющая различные типы неупорядоченности (ориентационная, позиционная, конформационная, ионная и др. [3]. По совокупности макропризнаков (существующие экстремумы температурных характеристик плотности, теплоемкости, поляризуемости, сжимаемости и т.д.) жидкую воду следует определить как динамически нестабильную (глубоко ассоциированную) полимерную систему. Для пространственных масштабов, сравнимых с размерами агрегатных образований (ассоциатов) вода уже не является изотропной средой.

Следует предположить, что относительные смещения при поляризации свойственны также и ассоциатам воды, и поглощение э.-м. энергии увеличивает также кинетическую энергию этих полимероподобных структур. В таком случае по крайней мере часть потерь э.-м. энергии в воде возможно трактовать как потери на вязкое трение, т.е. на процессы, связанные со сдвигами и деформациями ассоциатных структур воды.

С другой стороны из механохимии полимеров хорошо известно [4], что появление градиентов сдвига в полимерах или в растворах полимеров сопровождается так называемым "химическим течением". При этом в молекулах полимеров (для воды — аналог — ассоциаты) закономерно происходит разрыв как слабых межмолекулярных связей (для воды — водородные связи), так и сильных внутримолекулярных связей [5] (для воды — связь $H - OH$).

При увеличении степени активации воды,например СВЧ э.-м. полем, увеличиваются градиенты сдвига структур воды, и закономерно должна нарастать доля разрывов внутримолекулярных связей [4].

Цель данной работы — экспериментальная проверка степени диссоциации молекул воды при поглощении СВЧ э.-м. энергии.

В опытах степень диссоциации воды оценивалась измерением концентрации появляющегося в результате в воде пероксида водорода ($c(H_2O_2)$) — продукта реакции рекомбинации гидроксил–радикалов ($OH + OH \rightarrow H_2O_2$). Концентрацию H_2O_2 измеряли с помощью высокочувствительной хемилюминесцентной методики [6]. Вода активировалась СВЧ э.-м. излучением на двух частотах: $f = 10$ ГГц ($\lambda = 3$ см) и $f = 2,5$ ГГц ($\lambda = 12$ см). Для опытов использовалась деионизованная вода полупроводниковой чистоты (класс A, содержание атомов и ионов Fe и $Cu < 2$ мкг/л), которая помещалась в кювету из чистого кварцевого стекла. Малое содержание переходных металлов в воде и в стенках кюветы способствовало при измерениях сохранности образующейся H_2O_2. Кювета имела форму параллелепипеда с длинами сторон $28 \times 22 \times 9$ мм и толщиной кварцевых стенок 0,7 мм. Кювета могла быть вдвинута в волновод (для опытов с $f = 10$ ГГц). Для опытов с $f = 12$ ГГц эту же кювету с водой размещали в ультраволновой камере.

Кроме пресной воды испытывались два раствора: $MgSO_4(c(MgSO_4 - 0,05$ М — аналог морской воды по содержанию Mg_{2+}) и $H_2O_2(c(H_2O_2) = 10^{-9}$ М).

Опыты на частоте $f = 10$ ГГц проводились при излучаемой мощности $P = 30$ мвт и $P = 3$ вт. В этих опытах удельная поглощенная энергия определялась по измеренному К.С.В. и времени экспозиции непрерывного излучения. Температура образцов воды в кювете ($\sim 20^o$) при облучении практически не менялась из-за хорошей теплоотдачи в металлические стенки волновода. Опыты на частоте $f = 2,5$ ГГц проводились при излучаемой мощности 0,5 квт. Опыты проводились как при непрерывном излучении, так и при импульсном излучении (скважность 10, длительность импульса 1 мс). Удельная поглощенная энергия определялась калориметрически. Температура воды измерялась в момент окончания экспозиции пробы полем СВЧ. В опытах с частотой $f = 2,5$ ГГц при удельных поглощенных энергиях > 400 дж/мл вода нагревалась до температуры 100^o и при продолжении облучения частично испарялась из

кюветы, что также учитывалось при оценке поглощенной энергии.

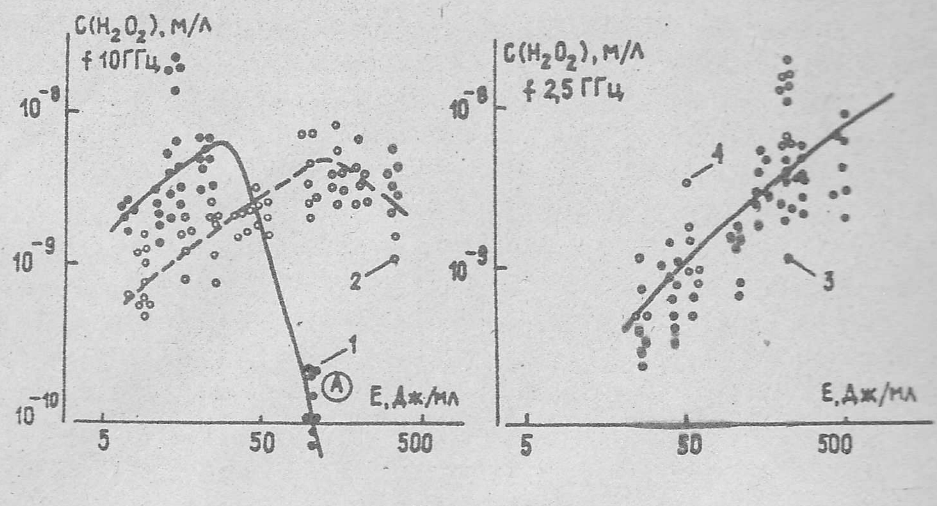


Рис.1, 2:

Все опыты показали накопление H_2O_2 в экспонированной СВЧ э.-м. энергией воде. На рис.1 и рис.2 приведены результаты измерений $c(H_2O_2)$. Оси координат имеют логарифмический масштаб. На графиках соотносятся удельные поглощенные энергии СВЧ поля и получающиеся в воде концентрации H_2O_2. На рисунках нанесены все имеющиеся к настоящему времени результаты измерений $c(H_2O_2)$ в экспонированных СВЧ полем образцах воды. Линиями указан характер изменения $c(H_2O_2)$ для отдельного цикла измерений.

Для $f = 10$ ГГц пропорциональность поглощенной энергии и $c(H_2O_2)$, начиная с некоторого уровня удельной поглощенной энергии претерпевает излом, прекращает возрастать и даже начинает уменьшаться. Для измерений с меньшей мощностью (1) это происходит для энергии > 40 дж/мл (экспозиция для A (см. рис.1) 3 часа), для мощности 3 вт насыщение происходит при удельной поглощенной энергии > 150 дж/мл (экспозиция 0,5 часа).

Эффект насыщения, а в дальнейшем и уменьшения $c(H_2O_2)$ в измерениях пероксида водорода был известен авторам по предыдущим исследованиям механохимических диссационных процессов в воде при ее активации звуком и протеканием в капиллярах [7]. Суть наблюдаемого уменьшения $c(H_2O_2)$ состоит в убыстрении процессов каталитического разложения H_2O_2 на переходных металлах и других катализаторах разложения H_2O_2, постепенно заражающих воду в кювете. Процессы диссоциации воды продолжаются при этом с прежней эффективностью, но метка протекания реакции диссоциации воды (H_2O_2) перестает работать. В опытах с частотой поля 10 ГГц происходит эффективное конвективное омывание

стенок кюветы водой и вымывание катализаторов разложения H_2O_2, т.к. поглощение энергии СВЧ поля в кювете происходило неравномерно — поглощение энергии происходило в переднем слое с толщиной ≤ 4 мм. Это к тому же означает, что измеренные $c(H_2O_2)$ являются результатом разбавления продуцируемого H_2O_2 во всем объеме кюветы, и можно считать, что в пределе истинные концентрации H_2O_2 в опытах с частотой 10 ГГц могут быть больше в $\sim 5,5$ раз. Высказанные соображения подтверждаются результатами измерений с полем с частотой 2,5 ГГц: изменение крутизны динамических кривых продуцирования H_2O_2 выражены более вяло. В этом случае поглощение э.-м. энергии происходило практически равномерно в объеме кюветы и конвективные потоки вряд ли имели значительные скорости. Соответственно была меньше эффективность загрязнения воды катализаторами разложения H_2O_2. Авторы использовали во всех опытах одну и ту же кювету для уменьшения уровня артефактных помех.

Упоминаемые опыты с облучением растворов H_2O_2 и $MgSO_4$ показали, что:

а) исходная концентрация $H_2O_2(10^{-8}$ М) при облучении не уменьшается;

б) в растворах $MgSO_4$ различий в эффективности продуцирования H_2O_2 в пределах чувствительности использованного метода измерений не найдено.

Полученные результаты являются свидетельством в пользу высказанной гипотезы: кинетическое возбуждение структур жидкой воды при поглощении СВЧ э.-м. поля хотя бы отчасти приводит к вязким потерям, которые из-за механохимических реакций заканчиваются частичным необратимым распадом воды. Подобные преобразования веществ в э.-м. поле известны для некоторых типов диэлектриков, особенно для полимерных материалов [8]; в этих случаях происходит "старение" диэлектриков. До сих пор в качестве механизма этого явления предполагалось, что это следствие накопления результатов микропробоев вещества диэлектрика и связанных с ними изменений уровней напряженности электрического поля. Возможно, однако, что в этом случае также имеет место и химическое перерождение вещества диэлектрика в результате механохимических реакций — следствия кинетического возбуждения сложных макромолекул полимеров в э.-м. поле.

Действие э.-м. поля на жидкую воду вследствие частичного поглощения, нагрева и возникновения интенсивных движений воды (вихри в локальных областях), приводят, в соответствии с высказанной гипотезой, к механохимической диссоциации ассоциированной воды с образованием сольватированных атомов водорода и гидроксил-радикалов: $(H_2O)_{\text{ассоц.}} \Longleftrightarrow H\cdot_{aq} + \cdot OH_{aq}$. Эти образования возможно классифицировать как нейтральные дефекты в структурах воды. Наличие в воде по-

стоянно электролитической диссоциации: $(H_2O)_{accon} \Longleftrightarrow H_3O^+_{aq} + OH^-_{aq}$ — должно приводить к возможности установления локальных равновесий или стационарных состояний в обратимой реакции образования сольватированного электрона, которая почти термонейтральна: ($\Delta H = +0,05$ эв [9]): $H\cdot_{aq} + OH^-_{aq} \Longleftrightarrow (H_2O)_{liq} + e^-_{aq}$.

Наибольшая подвижность сольватированных электронов в э.-м. поле, приложенном к воде, по сравнению со всеми другими также сольватированными более массивными заряженными и незаряженными частицами в воде (атомами $H\cdot$, радикалами $\cdot OH$, ионами H^+ и OH^-), дает свой вклад в поглощение СВЧ э.-м. поля. Обычные концентрации e^-_{aq} и находящихся с ними в равновесии $H\cdot_{aq}$ в экспериментах по получению и реакциям сольватированного электрона имеют порядок $(5-10)\cdot 10^{-9}$ М [9], что попадает в диапазон измеренных нами концентраций H_2O_2.

Следует отметить, что появление в экспонированной э.-м. полем воде H_2O_2 сопровождается гораздо более значительным (не менее, чем на порядок) распадом молекул воды — только часть $H\cdot$ и $\cdot OH$ радикалов образуют H_2O_2. Знание соотношений скоростей реакций рекомбинации $H + OH \rightarrow H_2O$, $H + H \rightarrow H_2$ и $OH + OH \rightarrow H_2O_2$ в условиях одновременного воздействия поля позволит определить долю процессов механохимических преобразований в воде. Предварительные оценки показывают, что этот путь потерь э.-м. энергии в воде может быть ответственным за $10^{-4} \div 10^{-3}$ относительных долей от общих потерь энергии.

Особое значение, по мнению авторов, результаты этих исследований имеют для прикладного аспекта проблем взаимодействия СВЧ полей с биологическими средами. Поскольку все живые среды являются слабыми растворами различных веществ в воде, появление в них под действием поля радикалов открывает путь к протеканию реакций, которые, видимо, в настоящем не учитываются или трактуются как-то иначе, без учета обнаруженного механизма частичной диссоциации воды под действием СВЧ э.-м. полей.

Исследования проведены при поддержке РФФИ по проектам: 93158116, 9303476, 93058116.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богородский В.В., КозловА.И.,Тучков Л.Т. Радиотепловое излучение земных покровов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977.
2. Паулинг Л. Природа химической связи. – М.Л.: ГНТИ хим. лит-ры, 1947.
3. Kroger F.A. The Chemistry of Imperfect Crystals. N.-Holland Publishing Com. Amsterdam,1964.
4. Каргин В.А., Слонимский Г.Л. Краткие очерки по физико-химии поли-

меров. – М.: Химия, 1967.
5. Watson W.F. The Mechano-chemical Reactions. In Chemical Reactions of Polymers. ed. E.M.Fettes. Intersci. Publ., John Wiley & Sons. N.Y., London, Sydney, 1964.
6. Домрачев Г.А,Родыгин Ю.Л.,Селивановский Д.А. // Высокочистые вещества. 1991. N 5. С.187–189.
7. Домрачев Г.А.,Родыгин Ю.Л.,Селивановский Д.А. // ДАН. 1993. Т.329. Вып.2. С.186–188.
8. Kockott D. // Polym. Degrad. and Stab. 1989. V.25. N 2–4. P.181–208.
9. Schwarz H.A. // J.Phys.Chem. 1992. V.96. P.8337–8341.

Институт прикладной физики РАН
Институт металлоорганической химии РАН

Поступила в редакцию
28 июля 1993 г.

DISSOCIATION OF WATER UNDER AN INFLUENCE OF THE MICROWAVE ELECTRO–MAGNETIC IRRADIATION

Vl.L.Vaks, G.A.Domrachev, Uy.L.Rodigin, D.A.Selivanovsky, E.I. Spivak

Peroxide hydrogen concentrations $c(H_2O_2)$ in water due to microwave electro–magnetic irradiation of frequencies 2500 MHz and 10000 MHz were measured by hemiluminescence method. A mechanism of microwave irradiation absorption based on water dissociation into radicals $H\cdot$ and $\cdot OH$ is discussed.

УДК 615.47:537.811.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ АППАРАТЫ КВЧ ТЕРАПИИ СЕРИИ "БАЮР" И ДИАГНОСТИЧЕСКО-ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Ю.И.Орехов, Л.П.Хохрин, А.В.Гаврин, Л.Д.Раснецов, Л.И.Матусис

Рассмотрены и приведены характеристики аппаратов и комплексов КВЧ терапии и диагностики серии "БАЮР". Показаны их основные отличия от известных аналогов.

Рассмотрены и приведены характеристики аппаратов и комплексов КВЧ терапии и диагностики серии "БАЮР". Показаны их основные отличия от известных аналогов.

Успехи медико-биологических исследований и клинической практики КВЧ терапии последних лет стимулировали развитие аппаратных средств КВЧ воздействия. В последние годы созданы аппараты ("Явь-1 ", "Электроника" и др.), успешно применяемые в клинической практике.

Исследования КВЧ воздействия на биологические объекты, проводимые Нижегородским медицинским институтом (НМИ) и научно- исследовательским кожно-венерологическим институтом (НИКВИ), выдвижение новых требований к аппаратным средствам потребовало создание серии аппаратов, отличных от имеющихся аналогов.

Разработан и освоен в серийном производстве двухчастотный аппарат КВЧ терапии "БАЮР-01".

Принципиальное отличие принятого схемного решения от аналогов заключается в использовании источника излучения в см-диапазоне длин волн с последующим умножением на ЛПД с кратностью от 7 до 30 в выносимой облучающей головке.

Благодаря этому, а также разработанной схеме электронного управления аппараты серии "БАЮР" имеют следующие преимущества:

— существенно повышен ресурс работы (до 50000 час);

— обеспечен непрерывный автоматический самоконтроль выходных параметров (мощность и частота);

— обеспечена возможность работы как в автономном, так и в автоматизированном режиме с ПЭВМ, IBM совместимыми с AT/XT;

— имеется возможность перестройки частоты излучения (по требованию заказчика) в пределах 30...94 ГГц при минимальных конструктивных изменениях.

Аппарат "БАЮР-01" разрешен к серийному выпуску и применению МЗ РФ, соответствует международным требованиям по электро- и электромагнитной безопасности.

Схемное решение аппаратов "БАЮР" защищено патентом РФ.

Основные характеристики аппарата "БАЮР-01":

— рабочие длины волн 7,1 мм и 5,6 мм с полосой девиации 200 и 100 МГц соответственно;

— плотность потока мощности 10; 1; 0,1 Вт/см^2;

— режим работы автономный и автоматизированный с ПЭВМ, IBM совместимыми с AT/XT;

— контроль параметров непрерывный автоматизированный;

— выносные облучающие головки связаны с аппаратом гибкими кабелями длиной 1,5 м;

— встроенный таймер 1...99 мин с дискретом 1 мин в автономном и 1 сек в автоматизированном режимах;

— возможность совместной работы с автоматизированными диагностиками Аурикуло, Фолля, Риодораку на базе IBM PC AT по последовательному интерфейсу RS-232C;

— звуковая и световая индикация неисправности окончания сеанса;

— простота управления, современный дизайн.

Аппарат "БАЮР-01" удостоен Золотой медали ВДНХ, демонстрировался на международных выставках в РФ, Италии и Израиле, в настоящее время проходит медицинскую и техническую сертификацию в Израиле.

Разрабатывается автоматизированный комплекс КВЧ терапии с системой биологической обратной связи (БОС) "БАЮР–02" по МТТ утвержденным МЗ РФ.

Основные отличительные особенности:

— введена дополнительная частота 61 ГГц с девиацией 240 МГц;

— частоты девиации переменные, биочастотами от 20 до 200 Гц;

— режим прерывистой работы — импульсная модуляция "меандр" биочастотами от 2 до 20 Гц;

— индикатор динамической реакции организма по проводимости БАТ с системой управления и автоматического выбора оптимального режима КВЧ воздействия аппарата с использованием IBM PC AT;

— улучшен дизайн, упрощена технология изготовления.

Разрабатываются варианты автоматизированных диагностическо–терапевтических комплексов "БАЮР" с системой БОС, работающие по единому диагностическо–терапевтическому алгоритму.

Аппараты "БАЮР-01" успешно применяются в клиниках РФ, разработка комплексов проводится совместно с ведущими медицинскими специалистами Нижегородского региона (НИКВИ, НМИ — кафедры рефлексотерапии, нормальной физиологии).

Научно–исследовательский институт
измерительных систем

Поступила в редакцию
28 июля 1993 г.

MILLIMETER–WAVE THERAPY AUTOMATED DEVICES OF "BAYUR" TYPE AND DIAGNOSTIC– THERAPEUTIC SYSTEMS ON THEIR BASE

Yu.I.Orekhov, L.P.Khochrin, A.B.Gavrin,
L.D.Rasnetsev, L.I.Matusis

There are duscussed and presented characteristics and of mm-wave therafy and diagnostic devices and systems of "BAYUR" type. The main advantages:

— any two operating frequencies in the range of 30 to 94 GHz;

— changing deviation frequencies (biofrequencies 20 to 200 Hz);

— pulse modulation (by biofrequencies 2 to 200 Hz);

— continuous self-check of radiation parametrs;

— the possibility to work as a component part of any automated system of diagnostic- therapeutic equipment on the base of personal computer IBM PC AT;

— service life was increased up to 50 000 hours.

"BAYUR-01" devices are used successfully in clinics of Russia. Millimeter–wave therapy system development is carried out jointly with the leading medical specialists of Nizhegorodsky region.

Формат 70x108/16. Офсетная бумага. Офсетная печать.
Усл.печ.л. 9, 80. Усл.кр.-отт. 9, 80. Уч.-изд.л. 11, 10
Тираж 300 экз. Заказ Цена 400 р.

Адрес редакции: 603600, Нижний Новгород,
ул.Большая Печерская, 25,
Научно-исследовательский радиофизический институт,
редакция журнала "Известия вузов. Радиофизика".
Телефон 36-01-71, e-mail rfj@nirfi.nnov.su

Отпечатано с готового набора

Типография
фирмы "УНИ-ПРИНТ"
603600, Нижний Новгород, ул.Большая Печерская, 25